



TESIS - RE142551

UPAYA PENGELOLAAN KUALITAS AIR SUNGAI OTOMONA AKIBAT LIMBAH PASIR SISA TAMBANG

RUDI HASUDUNGAN RAJAGUKGUK
3312202806

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SANITASI LINGKUNGAN
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015



THESES - RE142551

WATER QUALITY MANAGEMENT EFFORTS FOR OTOMONA RIVER DUE TO THE REST OF SAND MINING WASTE

RUDI HASUDUNGAN RAJAGUKGUK
3312202806

SUPERVISOR
Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc.

MASTER PROGRAM
ENVIRONMENTAL SANITATION ENGINEERING
ENVIRONMENTAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND PLANNING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (MT.)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Rudi Hasudungan Rajagukguk

NRP. 3312202806

Tanggal Ujian : 05 Januari 2015

Periode Wisuda : Maret 2015

Disetujui oleh:


Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc.

NIP. 19550128 198503 2 001

(Pembimbing)


Dr. Ir. Elina Sitepu Pandebesie, MT.

NIP. 19560204 199203 2 001

(Penguji)


Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., PhD.

NIP. 19711114 200312 2 001


(Penguji)


Yuli Imawati, ST., MT.

NIP. 19750716 200502 2 001

(Penguji)

Direktor Program Pascasarjana,


Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.

NIP. 19640405 199002 1 001



UPAYA PENGELOLAAN KUALITAS AIR SUNGAI OTOMONA AKIBAT LIMBAH PASIR SISA TAMBANG

Nama Mahasiswa : Rudi Hasudungan Rajagukguk
NRP : 3312202806
Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc.

ABSTRAK

Sungai Otomona merupakan sungai di Kabupaten Mimika yang alirannya dimanfaatkan untuk mengalirkan pasir sisa tambang (Sirsat) menuju ke daerah pengendapan sebelum mengalir ke laut. Penelitian ini ditujukan untuk melakukan analisa teknis terhadap kualitas air Sungai Otomona dari dampak pengelolaan Sirsat, menentukan upaya pengelolaan lingkungan Daerah Aliran Sungai Otomona yang terintegrasi, dan melakukan kajian terhadap aspek kelembagaan dari penanganan pencemaran air Sungai Otomona.

Analisa teknis dari parameter limbah industri terhadap Sungai Otomona, yaitu pH, temperatur, DO, COD, Hg, dan Total Coliform dilakukan dengan membandingkan hasil laboratorium dengan baku mutu kualitas air sungai menurut Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001. Tingkat pencemaran air Sungai Otomona dan sumur penduduk diketahui dengan menggunakan Metode Indeks Pencemaran. Analisa deskriptif yang membahas tindakan pencegahan dan penanggulangan pencemaran badan air sungai dilakukan di ketiga aspek.

Hasil analisa menunjukkan kualitas air Sungai Otomona tidak lagi memenuhi syarat Kelas IV karena pH, COD, dan Hg tidak dapat memenuhi baku mutu Kelas IV, sedangkan kualitas air sumur penduduk sudah berada dikisaran Kelas III dan Kelas IV dengan penyebabnya adalah COD dan Hg. Berdasarkan hasil rekapitulasi diperoleh status pencemaran Sungai Otomona adalah tercemar sedang dengan nilai Indeks Pencemaran di titik L1, L2, dan L3 direntang angka 7,09 – 7,12 pada sampling ke-1, dan 7,12 – 7,18 pada sampling ke-2. Untuk air sumur penduduk tergolong tercemar ringan dengan Indeks Pencemaran di L4, L5, dan L6 berkisar di antara 1,61 – 1,72 (sampling ke-1) dan 1,61 – 1,67 (sampling ke-2). Perlu pembangunan sebuah pengolahan yang terdiri dari sistem penampungan berupa dam, oksidasi kimia dengan H_2O_2 , dan penjernihan limbah dengan koagulasi dan flokulasi, sebelum air limbah dan Sirsat menuju ke kawasan pengendapan. Reklamasi dan penanaman vegetasi dapat dilakukan dalam sebuah program jangka panjang pemantauan lingkungan hidup. Peran BPLH Papua perlu ditingkatkan dengan kerjasama kemitraan dengan pihak swasta agar komitmen perusahaan tambang dapat dijalankan sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Kata kunci : Indeks Pencemaran, limbah industri, pasir sisa tambang, reklamasi, Sungai Otomona.

WATER QUALITY MANAGEMENT EFFORTS FOR OTOMONA RIVER DUE TO THE REST OF SAND MINING WASTE

By : Rudi Hasudungan Rajagukguk
Student Identity Number : 3312202806
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc.

ABSTRACT

Otomona River is a river in the Mimika District utilized to drain the rest of sand mining waste leading to the deposition area before flowing into the sea. This study aimed to conduct a technical analysis of the water quality of the Otomona River from the rest of sand mining waste management impacts, determine the integrated environmental management of Otomona Watershed, and a review of the institutional aspects of water pollution treatment in Otomona River.

Technical analysis of the parameters of industrial waste on the Otomona River, namely pH, temperature, DO, COD, Hg, and Total Coliform done by comparing the results of the laboratory with river water quality standards according to the Government Regulation No. 82 of 2001. Otomona River water pollution levels and well known using Pollution Index Method. Descriptive analysis that addresses the prevention and mitigation of pollution of the river water bodies is done in three aspects.

The analysis shows Otomana River water quality is no longer eligible Class IV as pH, COD, and Hg can not meet the Class IV quality standard, while the quality of well water is the range of Class III and Class IV caused by COD and Hg. Based on the results obtained recapitulation Otomona River pollution status is being contaminated by Pollution Index value at the point L1, L2, and L3 are stretched figures 7.09 to 7.12 on sampling 1, and 7.12 to 7.18 on sampling 2. For the population classified as contaminated well water lightly with Pollution Index in the L4, L5, and L6 ranged between 1.61 to 1.72 (sampling 1) and 1.61 to 1.67 (sampling 2). Keep in the construction of a processing system that consists of a shelter in the form of dams, chemical oxidation with H₂O₂, and purification of waste by coagulation and flocculation, wastewater and Tailings before heading to the deposition area. Reclamation and vegetation can be done in a long-term program of environmental monitoring. Papua BPLH role needs to be enhanced by the partnership with the private sector so that the mining company's commitment can be carried out in accordance with applicable regulations.

Keywords : industrial wastewater, Otomona River, Pollution Index, reclamation, tailings.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa, atas berkat anugerah dan karunia-NYA, penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “**Upaya Pengelolaan Kualitas Air Sungai Otomona Akibat Limbah Pasir Sisa Tambang**” sesuai dengan yang diharapkan.

Penulisan tesis ini adalah tujuan akhir untuk dapat menyelesaikan Program Studi Magister Teknik Sanitasi Lingkungan, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Keberhasilan penulis dalam menyelesaikan tesis ini tidak terlepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak, baik berupa saran, bimbingan, dan dorongan moral maupun bantuan material. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc. selaku dosen pembimbing yang telah bersedia dengan sabar membimbing, memotivasi, dan meluangkan waktu, tenaga dan pikiran agar penulis dapat menyelesaikan tesis ini;
2. Ibu Dr. Ir. Ellina Sitepu Pandebesie, MT. dan Ibu Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., PhD., selaku dosen-dosen penguji yang memberikan saran dan masukan untuk menyempurnakan penulisan tesis ini;
3. Bapak Dr. Ali Masduqi, ST., MT., selaku Koordinator Program Studi Magister Teknik Sanitasi Lingkungan dan Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE., MSc., PhD., sebagai Ketua Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS Surabaya;
4. Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITS Surabaya;
5. Bapak dan Ibu dosen di Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS Surabaya, atas ilmu dan dedikasinya yang telah diberikan kepada penulis;

6. Kementerian Pekerjaan Umum (Balai Sumber Daya Manusia Wilayah II Semarang), yang telah memberikan kesempatan dan membantu membiayai penulis menempuh pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya;
7. Kepala Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Papua, atas ijin dan kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk mengikuti program Magister Teknik Sanitasi Lingkungan Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS Surabaya;
8. Orang tua penulis, Almarhum Bapak C. Rajagukguk dan Ibu B. Sagala yang dengan kesahajaannya selalu mengajarkan dan mendidik penulis sampai hari ini. Doa, harapan, cita-cita, dan restu mereka yang telah mengantarkan penulis berhasil mewujudkan cita-citanya;
9. Istri tercinta, Kori Iriana Pratiwi Sagala, SPd. yang sabar dan ikhlas mendampingi penulis hingga menyelesaikan perkuliahan ini. Juga kepada anak kami tercinta, Lando Christopher Rajagukguk yang selalu menemani dan menjadi penyemangat penulis;
10. Adik-adikku tersayang, Febrinawati Rajagukguk, Maharani Rajagukguk dan Roni Kristian Rajagukguk yang sudah memberikan dukungannya kepada penulis;
11. Rekan-rekan karyasiswa program Magister Teknik Sanitasi Lingkungan 2013, atas bantuan dan dukungan hingga tesis ini dapat diselesaikan;
12. Semua pihak yang ikut terlibat secara tidak langsung dalam penulisan tesis tersebut.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu diharapkan masukan, saran dan kritik dari semua pihak demi kebaikan di waktu mendatang.

Akhir kata, semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL

KATA PENGANTAR

LEMBAR PENGESAHAN i

ABSTRAK iii

DAFTAR ISI v

DAFTAR TABEL vii

DAFTAR GAMBAR ix

DAFTAR PERSAMAAN xi

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang 1

1.2. Rumusan Masalah 2

1.3. Tujuan Penelitian 3

1.4. Manfaat Penelitian 3

1.5. Ruang Lingkup 3

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Daerah Aliran Sungai dan Kondisi Lingkungannya 5

2.2. Pengelolaan Kualitas Air 7

2.3. Kualitas Air Sungai 8

2.4. Parameter Kualitas Air Sungai 12

2.4.1. Parameter Fisik 12

2.4.2. Parameter Kimia 13

2.4.3. Parameter Mikrobiologi 18

2.5. Industri Pertambangan 19

2.6. Pasir Sisa Tambang (Sirsat) 37

2.7. Penentuan Status Mutu Air dengan Metode Indeks Pencemaran 42

2.8. Fitoremediasi 44

2.9. Environmental Health Risk Assessment (EHRA) 47

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

| | |
|--|----|
| 3.1. Jenis Penelitian | 49 |
| 3.2. Paramater Penelitian | 51 |
| 3.2.1. Data Primer | 51 |
| 3.2.2. Data Sekunder | 51 |
| 3.3. Metode Analisa | 51 |
| 3.3.1. Aspek Teknis | 51 |
| 3.3.2. Aspek Lingkungan | 52 |
| 3.3.3. Aspek Kelembagaan | 52 |
| 3.4. Waktu dan Lokasi Penelitian | 52 |

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

| | |
|--|----|
| 4.1. Analisa Aspek Teknis | 55 |
| 4.2. Analisa Aspek Lingkungan | 72 |
| 4.2.1. Pengelolaan Pasir Sisa Tambang (Sirsat) | 72 |
| 4.2.2. Reklamasi dan Penghijauan Kembali | 74 |
| 4.2.3. Upaya Pengelolaan dan Pemantauan Lingkungan | 78 |
| 4.3. Aspek Kelembagaan | 82 |
| 4.3.1. Kerjasama Pemerintah dan Swasta | 86 |

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

| | |
|-----------------------|----|
| 5.1. Kesimpulan | 93 |
| 5.2. Saran | 94 |

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

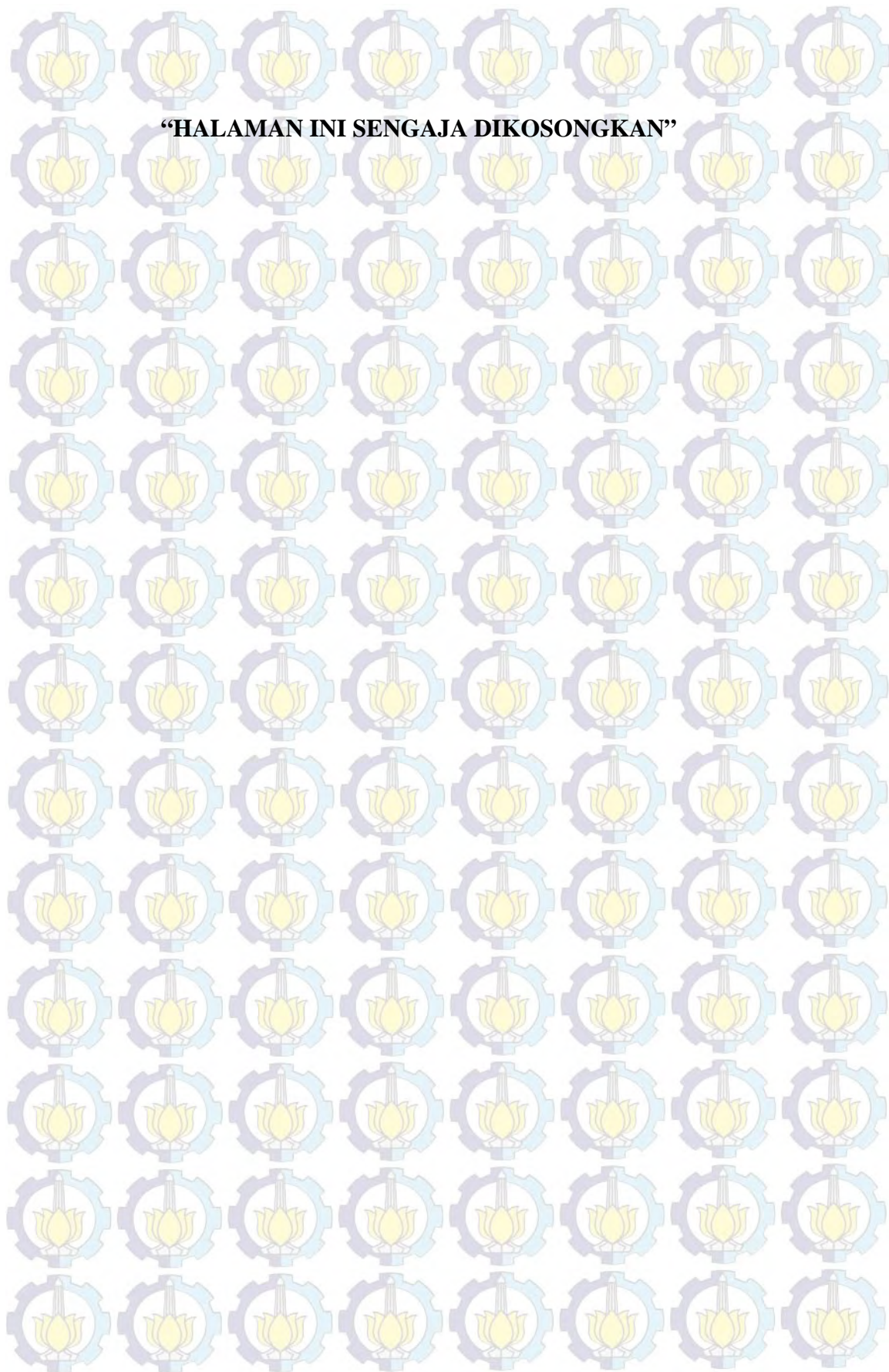
DAFTAR GAMBAR

| | | |
|--------------|--|----|
| Gambar 2.1. | Siklus Merkuri di Lingkungan | 17 |
| Gambar 2.2. | Teknik-teknik Ekstraksi Bahan Mineral | 22 |
| Gambar 2.3. | Dampak Pengelolaan Sirsat | 28 |
| Gambar 2.4. | Peta Lokasi Pengendapan Sirsat di Sungai Otomona | 38 |
| Gambar 2.5. | Skema Reklamasi | 40 |
| Gambar 2.6. | Grafik Akses terhadap Air Bersih/Sumber Air Minum dan Masak di Kabupaten Mimika | 48 |
| Gambar 3.1. | Skema/Tahapan Penelitian | 50 |
| Gambar 3.2. | Lokasi Pengambilan Sampel Air di Sungai Otomona dan Sumur Penduduk di Kota Timika | 53 |
| Gambar 4.1. | pH di Sungai Otomona dan Sumur Penduduk (Sampling ke-1) ... | 58 |
| Gambar 4.2. | Oksigen Terlarut (DO) di Sungai Otomona dan Sumur Penduduk (Sampling ke-1) | 58 |
| Gambar 4.3. | COD di Sungai Otomona dan Sumur Penduduk (Sampling ke-1) | 59 |
| Gambar 4.4. | Hg di Sungai Otomona dan Sumur Penduduk (Sampling ke-1) ... | 59 |
| Gambar 4.5. | Total <i>Coliform</i> di Sungai Otomona dan Sumur Penduduk (Sampling ke-1) | 60 |
| Gambar 4.6. | pH di Sungai Otomona dan Sumur Penduduk (Sampling ke-2) ... | 63 |
| Gambar 4.7. | Oksigen Terlarut (DO) di Sungai Otomona dan Sumur Penduduk (Sampling ke-2) | 63 |
| Gambar 4.8. | COD di Sungai Otomona dan Sumur Penduduk (Sampling ke-2) | 64 |
| Gambar 4.9. | Hg di Sungai Otomona dan Sumur Penduduk (Sampling ke-2) ... | 64 |
| Gambar 4.10. | Total <i>Coliform</i> di Sungai Otomona dan Sumur Penduduk (Sampling ke-2) | 65 |
| Gambar 4.11. | Indeks Pencemaran Sungai Otomona dan Sumur Penduduk (Sampling ke-1) | 66 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.12. Indeks Pencemaran Sungai Otomona dan Sumur Penduduk (Sampling ke-2) | 67 |
| Gambar 4.13. Usulan Rencana Penerapan Sistem Pengelolaan Limbah Cair dan Sirsat Untuk Mereduksi Merkuri | 70 |
| Gambar 4.14. Pengembang biakan Pohon Cemara (Tanaman Alpin) di sepanjang Sungai Otomona | 76 |
| Gambar 4.15. Tanaman Poplar Kuning (<i>Liriodendron Tulipifera</i>) Untuk Mengakumulasi Merkuri | 77 |
| Gambar 4.16. Penambangan Tanpa Ijin oleh Masyarakat | 81 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1. Kriteria Mutu Air | 9 |
| Tabel 2.2. Hubungan antara Suhu Air dan Kandungan Oksigen Terlarut | 13 |
| Tabel 2.3. Hubungan antara pH Air dan Kehidupan Hewan Perairan | 14 |
| Tabel 2.4. Karakteristik Proses dan Limbah Kegiatan Pertambangan | 26 |
| Tabel 2.5. Kandungan Sirsat di Sungai Otomona | 41 |
| Tabel 2.6. Hubungan antara Indeks Pencemaran dengan Status Mutu Air..... | 44 |
| Tabel 4.1. Hasil Analisa Kualitas Air Sungai Otomona dan Sumur Penduduk (Sampling ke-1) | 57 |
| Tabel 4.2. Hasil Analisa Kualitas Air Sungai Otomona dan Sumur Penduduk (Sampling ke-2) | 62 |
| Tabel 4.3. Rekapitulasi Indeks Pencemaran Sungai Otomona dan Sumur Penduduk (Sampling ke-1) | 66 |
| Tabel 4.4. Rekapitulasi Indeks Pencemaran Sungai Otomona dan Sumur Penduduk (Sampling ke-2) | 67 |



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Keberadaan Sungai Otomona merupakan salah satu sungai di Distrik Tembagapura Kabupaten Mimika yang alirannya dimanfaatkan untuk membawa pasir sisa tambang (Sirsat) dari lokasi aktivitas pertambangan menuju ke daerah pengendapan sebelum ke laut. Adapun metode ini merupakan alternatif pengelolaan yang paling layak mengingat kondisi geoteknik, topografi, iklim, seismik di kawasan penambangan dan telah disetujui oleh pemerintah. Hal ini menyebabkan ekosistem pada Sungai Otomona sangat dipengaruhi oleh pembuangan Sirsat di DAS Otomona tersebut yang rentan dan dapat mengakibatkan penurunan kualitas air sungai dan meningkatkan beban lingkungan pada wilayah sungai serta mempengaruhi kandungan unsur pada dasar sungai, faktor fisika dan kimia air.

Suku Amungme yang hidup di dataran tinggi dan dekat dengan lokasi pertambangan walaupun kini telah mendapatkan akses perpipaan air minum, namun mereka masih menggunakan Sungai Otomona untuk keperluan sehari-hari lainnya. Sedangkan Suku Kamoro yang juga merupakan suku asli di daerah tersebut belum mendapatkan pelayanan perpipaan air minum tersebut. Suku Kamoro ini tinggal di delapan permukiman di dataran yang lebih rendah dan memiliki ketergantungan yang besar pada Sungai Otomona untuk kelangsungan hidup mereka. Hal ini dapat terlihat pada permukiman-permukiman tersebut yang dibangun di dekat sungai untuk mempermudah akses transportasi dengan menggunakan sampan, mencari ikan sebagai mata pencaharian dan juga akses memperoleh air untuk mandi, minum dan rekreasi.

Batasan legal total padatan tersuspensi (*Total Suspended Solid*, TSS) dalam air tawar yang telah ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 adalah 50 mg/L (Kelas II) telah dilampaui di muara sungai, yaitu sebesar 1.300 mg/L (WALHI, 2006). Begitu pun halnya dengan kandungan tembaga terlarut di titik yang sama sebesar 22 µg/L (Baku Mutu= 20 µg/L). Hal

ini dapat berdampak pada masyarakat di sekitar DAS Otomona tersebut baik secara langsung maupun tidak langsung.

Pencemaran badan air akibat limbah industri pertambangan dapat menyebabkan perubahan struktur jaringan makanan, perubahan struktur komunitas perairan, efek fisiologi, tingkah laku, genetik, dan resistensi (Meittinen, 1977). Munculnya gejala-gejala kelainan neurologik yang dapat dirasakan oleh masyarakat yang mengalami pemajanan merkuri diantaranya adalah daya konsentrasi menurun, kesulitan mengingat, kestabilan berjalan, mudah tersinggung atau marah, gangguan psikomotorik, paraesthesia, penurunan daya reaksi, kesemutan, sudut pandang kurang dari 80°, dan tremor (Tri-Tugaswati, 1997).

Pendangkalan sungai akibat sedimentasi dapat menyebabkan putusnya rantai makanan biota air yang mengakibatkan menurunnya pendapatan nelayan terhadap hasil tangkapan ikan (Haryanto, 2008) dan juga dapat mengakibatkan terjadinya banjir karena meluapnya air sungai (Kristanto, 2013). Limbah cair yang mempunyai kandungan zat tersuspensi tinggi (TSS) tidak boleh dibuang langsung ke badan air karena disamping dapat menyebabkan pendangkalan juga dapat menghalangi sinar matahari masuk ke dalam dasar air sehingga proses fotosintesa mikroorganisme tidak dapat berlangsung (Darmawan dan Masduqi, 2014).

Oleh karena itu, penelitian ini untuk mengevaluasi upaya-upaya yang telah dilakukan untuk mengurangi pencemaran air yang terjadi di Sungai Otomona akibat pengelolaan Sirsat sehingga kualitas air sungai tersebut dapat dipertahankan untuk tidak melebihi standar baku mutu kelas air yang paling sesuai untuk Sungai Otomona.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dikemukakan di atas, maka dapat dirumuskan bahwa:

1. Adanya pengelolaan Sirsat diperkirakan mempengaruhi kualitas air sungai sehingga perlu dilakukan analisa teknis.

2. Upaya pengelolaan lingkungan di sekitar Daerah Aliran Sungai Otomona tidak terencana dan terintegrasi.
3. Rendahnya tingkat kepedulian dan perhatian dari pemerintah dan perusahaan tambang dalam mencegah pencemaran yang terjadi di Sungai Otomona.

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Melakukan kajian analisa teknis terhadap kualitas air Sungai Otomona dari dampak pengelolaan Sirsat.
2. Menentukan upaya pengelolaan lingkungan Daerah Aliran Sungai Otomona yang terintegrasi.
3. Melakukan kajian terhadap aspek kelembagaan dari penanganan pencemaran air Sungai Otomona.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang ingin diperoleh antara lain:

1. Hasil dari penelitian ini dapat memberikan informasi tentang upaya pemantauan kualitas air Sungai Otomona terhadap pencemaran dari pengelolaan pasir sisa tambang.
2. Memberikan masukan dan sumbangan pemikiran untuk pelaksanaan peningkatan kualitas air Sungai Otomona.

1.5. Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian yang akan dilakukan meliputi hal-hal berikut :

1. Penelitian akan dilakukan di Distrik Tembagapura, Kabupaten Mimika Provinsi Papua.

2. Dari aspek teknis akan mengolah data analisa laboratorium dengan menggunakan Metode Indeks Pencemaran. Pada aspek lingkungan akan memberikan analisa deskriptif tentang tindakan pencegahan dan penanggulangan pencemaran badan air Sungai Otomona. Sedangkan di aspek kelembagaan akan membahas peran dari lembaga pemerintah dan perusahaan tambang dalam pemantauan pencemaran dan pengelolaan kualitas air Sungai Otomona.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Daerah Aliran Sungai dan Kondisi Lingkungannya

Sungai merupakan suatu bentuk ekosistem akuatik yang mempunyai peran penting dalam daur hidrologi dan berfungsi sebagai daerah tangkapan air (*catchment area*) bagi daerah sekitarnya, sehingga kondisi suatu sungai sangat dipengaruhi oleh karakteristik yang dimiliki oleh lingkungan sekitarnya (Suwondo dkk., 2004). Perubahan kualitas air sungai sebagian besar karena adanya aktivitas manusia yang digunakan untuk menopang kehidupan masyarakat sekitar Daerah Aliran Sungai (DAS). Perubahan kualitas tersebut akan menurunkan tingkat daya guna, hasil guna, produktivitas, daya dukung dan daya tampung dari sumber daya air yang akhirnya menurunkan keaneka ragaman hayati sumber daya air.

Sedangkan definisi sungai berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 35 Tahun 1991 tentang Sungai, adalah tempat-tempat dan wadah-wadah serta jaringan pengaliran air mulai dari mata air sampai muara dengan dibatasi kanan dan kirinya serta sepanjang pengalirannya oleh garis sempadan. Selain itu sungai juga dapat didefinisikan sebagai suatu bentuk kesatuan antara aliran air yang mengalir didalamnya dengan daerah aliran yang dilaluinya sehingga sungai merupakan suatu ekosistem yang mudah mendapat pengaruh dari luar, seperti tumbuhan di tepi sungai dan buangan dari aktivitas manusia yang ada di sekitar DAS tersebut.

Adapun sebuah DAS adalah daerah tertentu yang bentuk dan sifat alaminya sedemikian rupa sehingga membuat suatu kesatuan antara sungai dan anak-anak sungai yang melaluinya. Adapun sungai dan anak-anak sungai tersebut memiliki fungsi menampung, menyimpan, dan mengalirkan air yang berasal dari hujan dan sumber air lainnya, dimana penyimpanan dan pengaliran air dihimpun dan diatur berdasarkan hukum alam serta sesuai dengan keseimbangan di daerah tersebut. Karakteristik fisik dari sebuah DAS merupakan variabel dasar yang dapat menentukan proses hidrologi pada DAS tersebut, sedangkan karakteristik

sosial ekonomi dan budaya masyarakat adalah variabel yang mempengaruhi percepatan perubahan dari kondisi hidrologi DAS.

Pengelolaan komponen-komponen DAS seperti vegetasi, tanah dan air yang berinteraksi dengan sumber daya manusia dan teknologi adalah proses formulasi dan implementasi kegiatan atau program yang bersifat manipulasi sumber daya alam dan manusia yang terdapat di DAS untuk memperoleh manfaat produksi dan jasa tanpa menyebabkan terjadinya kerusakan sumber daya air dan tanah (Asdak, 2004). Pada sebuah sungai mempunyai suatu kapasitas kemampuan untuk menerima daya tampung dan beban pencemaran yang masuk ke aliran sungai tersebut. Sedangkan daya tampung tersebut adalah kemampuan air pada suatu sumber air untuk menerima masukan beban pencemaran tanpa mengakibatkan air tersebut menjadi tercemar.

Seluruh aktivitas di dalam DAS seperti perubahan tata guna lahan, khususnya di hulu sungai yang menyebabkan perubahan ekosistem dapat memberikan dampak pada daerah hilir sungai yang bersangkutan. Dampak tersebut dapat berupa perubahan fluktuasi debit air dan kandungan sedimen serta material terlarut lainnya (Suripin, 2004). Oleh karena itu, pemahaman mengenai karakteristik fisik sebuah DAS dan geomorfologinya, pola pengaliran dan penyimpanan air sementara pada DAS, dapat membantu mengidentifikasi daerah yang memiliki kerentanan tinggi terhadap terjadinya persoalan di DAS tersebut, serta perancangan teknik-teknik pengendalian yang sesuai dengan kondisi setempat (Rahayu dkk., 2009).

Pengertian morfometri sebuah DAS merupakan ukuran kuantitatif karakteristik DAS yang terkait dengan aspek geomorfologi suatu kawasan. Karakteristik ini terkait dengan proses pengatusan (drainase) air hujan yang jatuh di dalam DAS. Adapun karakteristik tersebut meliputi luas, bentuk, jaringan sungai, kerapatan aliran, pola aliran, dan gradien kecuraman sungai. Karakteristik luas dari suatu DAS dapat diperkirakan dengan mengukur daerah tersebut pada peta topografi, sedangkan bentuknya dapat mempengaruhi waktu konsentrasi air hujan yang mengalir menuju outlet, dimana semakin bulat bentuk DAS berarti semakin singkat waktu konsentrasi yang diperlukan, sehingga semakin tinggi fluktuasi banjir yang terjadi. Sebaliknya semakin lonjong bentuk sebuah DAS,

maka waktu konsentrasi yang diperlukan semakin lama sehingga fluktuasi banjir semakin rendah (Rahayu dkk., 2009).

2.2. Pengelolaan Kualitas Air

Adapun sumber daya air merupakan salah satu sumber daya alam yang memiliki fungsi sangat penting bagi kehidupan dan perikehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya, serta untuk memajukan kesejahteraan umum, sehingga merupakan modal dasar dan faktor utama pembangunan. Oleh karena itu, untuk melestarikan fungsi air perlu dilakukan pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air secara bijaksana dengan memperhatikan kepentingan generasi sekarang dan mendatang, serta keseimbangan ekologis.

Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, pengelolaan kualitas air adalah upaya pemeliharaan air sehingga tercapai kualitas air yang diinginkan sesuai peruntukannya untuk menjamin agar kualitas air tetap dalam kondisi alamiahnya. Pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air sebaiknya diselenggarakan secara terpadu dengan melakukan pendekatan ekosistem dan hendaknya dimulai dari tahap perencanaan, pelaksanaan, pengawasan, dan evaluasi. Sedangkan perencanaan pendayagunaan air dapat meliputi potensi pemanfaatan atau penggunaan air, pencadangan air berdasarkan ketersediaannya, baik kualitas maupun kuantitas dan/atau fungsi ekologis.

Pengelolaan air dapat meliputi strategi sebagai berikut (Supardi, 2003):

1. Melindungi suatu badan air supaya terjaga kebersihannya agar terjaga kelangsungan hidup flora dengan menjaga akar tanaman terhindar dari gangguan secara fisik maupun kimia;
2. Melakukan upaya agar sinar matahari dapat menembus dasar badan air, sehingga proses fotosintesis dapat berlangsung;
3. Menjaga agar rantai makanan hewan dan biota perairan tetap terjaga;
4. Menggunakan air sesuai kebutuhan supaya kandungan unsur hara dapat tersimpan baik karena dapat digunakan sebagai penyimpan energi dan materi.

Pemantauan kualitas air, baik merupakan pengamatan rutin maupun berupa survey merupakan bagian dari pengelolaan kualitas air, yang kadang-kadang tidak menghiraukan aspek lain dari pengelolaan, seperti antara lain perencanaan dan sumber pencemar yang berada pada DAS tersebut (Dep. Kimpraswil, 2003). Upaya pengembangan pengelolaan kualitas air bertujuan untuk perlindungan kualitas sesuai dengan pemanfaatannya yang dapat dicapai dengan menentukan standar pemanfaatan perairan/badan air yang berada di setiap wilayah; pengendalian dan pengawasan perpindahan bahan pencemar dari kegiatan industri atau penduduk (*point source*) ke perairan/badan air; dan pengendalian dan pengawasan bahan pencemar dari kegiatan pertanian dan permukiman penduduk (*non point source*).

2.3. Kualitas Air Sungai

Kualitas air sungai dapat ditentukan dengan menggunakan kombinasi parameter fisik-kimia dan biologis karena menurut Odum dan Barrett (1971), pencemaran perairan adalah suatu perubahan fisika, kimia dan biologi yang tidak diinginkan pada ekosistem perairan yang akan menimbulkan kerugian pada sumber dan kondisi kehidupan serta proses industri. Pencemaran perairan dapat didefinisikan sebagai dampak negatif atau pengaruh yang dapat membahayakan kehidupan biota air, sumber daya air dan kenyamanan suatu ekosistem perairan, dan kesehatan manusia serta nilai guna lainnya dari ekosistem tersebut yang disebabkan secara langsung oleh pembuangan bahan-bahan atau limbah ke dalam perairan yang berasal dari kegiatan manusia (FAO, 1986). Sedangkan parameter biologi lebih berkaitan langsung dengan kondisi ekologi atau kesehatan ekosistem perairan daripada parameter kimia (Campbell, 2002).

Kualitas air adalah mutu air yang memenuhi standar untuk tujuan tertentu yang diukur dan/atau diuji berdasarkan parameter-parameter tertentu dan metode tertentu berdasarkan peraturan perundang-undangan yang berlaku. Syarat yang ditetapkan sebagai standar mutu air berbeda-beda tergantung tujuan penggunaan, sebagai contoh, air yang digunakan untuk irigasi memiliki standar mutu yang berbeda dengan air untuk dikonsumsi manusia. Klasifikasi dan kriteria kualitas air

di Indonesia diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.

Berdasarkan peraturan tersebut, kualitas air diklasifikasikan menjadi empat kelas, yaitu:

1. Kelas I: kualitas air yang dapat digunakan sebagai air minum atau untuk keperluan konsumsi lainnya.
2. Kelas II: dapat digunakan untuk prasarana dan/atau sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan air dan untuk mengairi tanaman.
3. Kelas III: dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan dan mengairi tanaman.
4. Kelas IV: dapat digunakan untuk mengairi tanaman dan/atau peruntukan lainnya yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Tabel 2.1 adalah tabel klasifikasi mutu air yang memuat nilai baku mutu untuk setiap parameter di tiap kelas kualitas air.

Tabel 2.1. Kriteria Mutu Air

| PARAMETER | SAT | KELAS | | | | KETERANGAN |
|--------------------|------|-------|-------|-------|-------|---|
| | | I | II | III | IV | |
| FISIKA | | | | | | |
| Temperatur | °C | Dev 3 | Dev 3 | Dev 3 | Dev 5 | Deviasi temperatur alamiahnya |
| Residu Terlarut | mg/l | 1000 | 1000 | 1000 | 5000 | |
| Residu Tersuspensi | mg/l | 50 | 50 | 400 | 400 | Bagi pengolahan air minum secara konvensional, Residu Tersuspensi ≤ 5000 mg/l |
| KIMIA ANORGANIK | | | | | | |
| pH | | 6-9 | 6-9 | 6-9 | 6-9 | Apabila secara alamiah diluar rentang tersebut, maka ditentukan berdasarkan kondisi alamiah |

| PARAMETER | SAT | KELAS | | | | KETERANGAN |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---|
| | | I | II | III | IV | |
| BOD | mg/lt | 2 | 3 | 6 | 12 | |
| COD | mg/lt | 10 | 25 | 50 | 100 | |
| DO | mg/lt | 6 | 4 | 3 | 0 | Angka batas maksimum |
| Total Fosfat sebagai P | mg/lt | 0,2 | 0,2 | 1 | 5 | |
| NO ₃ sebagai N | mg/lt | 10 | 10 | 20 | 20 | |
| NH ₃ -N | mg/lt | 0,5 | (-) | (-) | (-) | Bagi perikanan, kandungan amonia bebas untuk ikan yang peka $\leq 0,02$ mg/lt sebagai NH ₃ |
| Arsen | mg/lt | 0,05 | 1 | 1 | 1 | |
| Kobalt | mg/lt | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | |
| Barium | mg/lt | 1 | (-) | (-) | (-) | |
| Boron | mg/lt | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| Selenium | mg/lt | 0,01 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | |
| Kadmium | mg/lt | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | |
| Khrom (VI) | mg/lt | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 1 | |
| Tembaga | mg/lt | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | Bagi pengolahan air minum secara konvensional, Cu ≤ 1 mg/lt |
| Besi | mg/lt | 0,3 | (-) | (-) | (-) | Bagi pengolahan air minum secara konvensional, Fe ≤ 5 mg/lt |
| Timbal | mg/lt | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 1 | Bagi pengolahan air minum Secara konvensional, pb $\leq 0,1$ mg/lt |
| Mangan | mg/lt | 0,1 | (-) | (-) | (-) | |
| Air Raksa | mg/lt | 0,001 | 0,002 | 0,002 | 0,005 | |
| Seng | mg/lt | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 2 | Bagi pengolahan air minum secara konvensional, Zn ≤ 5 mg/lt |
| Khlorida | mg/lt | 600 | (-) | (-) | (-) | |
| Sianida | mg/lt | 0,02 | 0,02 | 0,02 | (-) | |
| Fluorida | mg/lt | 0,5 | 1,5 | 1,5 | (-) | |
| Nitrit sebagai N | mg/lt | 0,06 | 0,06 | 0,06 | (-) | Bagi pengolahan air minum Secara konvensional, NO ₂ ⁻ N ≤ 5 mg/lt |

| PARAMETER | SAT | KELAS | | | | KETERANGAN |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-----|---|
| | | I | II | III | IV | |
| Sulfat | mg/lt | 400 | (-) | (-) | (-) | |
| Khlorin Bebas | mg/lt | 0,03 | 0,03 | 0,03 | (-) | Bagi ABAM tidak dipersyaratkan |
| Belerang sebagai H ₂ S | mg/lt | 0,002 | 0,002 | 0,002 | (-) | Bagi pengolahan air minum secara konvensional, S sebagai H ₂ S < 0,1 mg/lt |

MIKROBIOLOGI

| | | | | | | |
|----------------|--------------------|------|------|-------|-------|---|
| Fecal Coliform | jml/ 100 ml | 100 | 1000 | 2000 | 2000 | Bagi pengolahan air minum secara konvensional, fecal coliform ≤ 2000 jml/100 ml dan Total Coliform ≤ 10000 jml /100ml |
| Total Coliform | jml / 100 ml | 1000 | 5000 | 10000 | 10000 | |

RADIOAKTIFITAS

| | | | | | | |
|-----------|-------|-----|-----|-----|-----|--|
| - Gross A | Bq/lt | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | |
| - Gross B | Bq/lt | 1 | 1 | 1 | 1 | |

KIMIA ORGANIK

| | | | | | | |
|---|-------|------|------|------|-----|--|
| Minyak dan Lemak | µg/lt | 1000 | 1000 | 1000 | (-) | |
| Deterjen Sebagai MBAS | µg/lt | 200 | 200 | 200 | (-) | |
| Senyawa Fenol | µg/lt | 1 | 1 | 1 | (-) | |
| BHC | µg/lt | 210 | 210 | 210 | (-) | |
| Aldrin/ Dieldrin | µg/lt | 17 | (-) | (-) | (-) | |
| Chlordane | µg/lt | 3 | (-) | (-) | (-) | |
| DDT | µg/lt | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| Heptachlor dan Heptachlor epoxide | µg/lt | 18 | (-) | (-) | (-) | |
| Lindane | µg/lt | 56 | (-) | (-) | (-) | |
| Methoxyelcor | µg/lt | 35 | (-) | (-) | (-) | |
| Endrin | µg/lt | 1 | 4 | 4 | (-) | |
| Toxaphan | µg/lt | 5 | (-) | (-) | (-) | |

Sumber: Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001.

Kriteria kualitas air untuk tiap-tiap kelas didasarkan pada kuantifikasi kondisi fisik, kandungan bahan kimia, biologi dan radioaktifnya. Secara sederhana kualitas air dapat diduga dengan melihat kejernihannya dan mencium baunya,

namun ada bahan-bahan pencemar yang tidak dapat diketahui hanya dari bau dan warna, melainkan harus dilakukan serangkaian pengujian laboratorium. Hingga saat ini dikenal ada dua jenis pendugaan kualitas air, yaitu fisik-kimia dan biologi.

2.4. Parameter Kualitas Air Sungai

Pada suatu sistem DAS, sungai yang berfungsi sebagai wadah pengaliran air selalu berada di posisi paling rendah dalam landscape bumi, sehingga kondisi sungai tidak dapat dipisahkan dari kondisi DAS tersebut. Oleh karena itu, kualitas air sungai sangat tergantung dari komponen-komponen penyusunnya dan juga banyak dipengaruhi oleh masukan komponen yang berasal dari kegiatan di sekitar sungai. Kualitas air sungai dipengaruhi oleh beberapa parameter pencemaran yang berasal dari air buangan (limbah) yang dikelompokkan menjadi parameter fisik, kimia, dan mikrobiologi. Parameter-parameter tersebut secara bersamaan dan dinamis dapat membuat kualitas air sungai berubah.

2.4.1. Parameter Fisik

Parameter yang tergolong dalam parameter fisik dan dipantau pada penelitian ini hanya parameter temperatur (suhu) yang digunakan untuk mengetahui tingkat pencemaran air sungai. Adapun temperatur suatu badan air dapat dipengaruhi oleh beberapa hal, seperti musim, ketinggian dari permukaan air laut, sirkulasi udara, aliran dan kedalaman badan air. Terjadinya perubahan suhu dapat berpengaruh terhadap proses fisika, kimia dan biologi yang berlangsung di dalam air. Peningkatan suhu tersebut akan menyebabkan peningkatan viskositas, reaksi kimia, evaporasi dan volatilisasi.

Bila dilihat dari segi biokimia, peningkatan suhu air sungai akan menyebabkan peningkatan laju metabolisme dan respirasi organisme air yang pada akhirnya akan meningkatkan konsumsi oksigen. Peningkatan suhu perairan sebesar 1°C akan menyebabkan kebutuhan oksigen meningkat antara 20 – 25%. Namun pada sisi lain, peningkatan suhu air sungai akan menyebabkan turunnya kelarutan oksigen (DO) sehingga perairan tersebut akan kekurangan oksigen dan

sering dapat menyebabkan kematian organisme air yang terdapat di sungai tersebut.

Untuk lengkapnya hubungan antara suhu air dan kandungan oksigen terlarut dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Hubungan antara Suhu Air dan Kandungan Oksigen Terlarut

| Suhu Air (°C) | Kandungan Oksigen Terlarut (DO) (ppm) |
|---------------|---------------------------------------|
| 0 | 14,18 |
| 5 | 12,34 |
| 10 | 10,92 |
| 15 | 9,79 |
| 20 | 8,88 |
| 25 | 8,12 |
| 30 | 7,48 |

Sumber: Dilapanga, 2009.

2.4.2. Parameter Kimia

Parameter kimia yang akan diteliti dan dianalisa untuk kualitas air sungai meliputi:

a. Derajat Keasaman (pH)

Pada dasarnya pH tidak sama dengan keasaman. Keasaman adalah kapasitas kuantitatif air untuk menetralkan senyawa dengan sifat-sifat basa sampai pada tingkatan pH tertentu dan sering dikenal dengan sebutan *basa neutralizing capacity*, sedangkan nilai pH hanya menggambarkan konsentrasi kologaritma aktivitas ion hidrogen (H^+) yang terlarut dalam suatu perairan. Oleh karena koefisien aktivitas ion H^+ tidak dapat diukur secara eksperimental, sehingga nilainya didasarkan pada sebuah perhitungan teoritis. Perlu diketahui bahwa skala pH bukanlah merupakan skala *absolute* namun lebih bersifat relatif terhadap sekumpulan larutan standar yang pH-nya ditentukan berdasarkan persetujuan internasional.

Pada keadaan alami, air selalu berada dalam keseimbangan ion hidronium (H_3O^+) dan ion hidroksil (OH^-) dengan konsentrasi ion H^+ pada air

tawar yang netral berkisar 10^{-7} g/L, atau pH nya berkisar 7. Adapun derajat keasaman ini berkaitan erat dengan CO_2 dan alkalinitas. Semakin tinggi pH, maka akan semakin tinggi pula nilai alkalinitas, semakin rendah kadar CO_2 bebas yang ada dalam perairan. Sedangkan nilai pH juga mempengaruhi perubahan sifat senyawa kimia, dari yang tidak toksik menjadi toksik. Sebagian besar biota perairan sensitif terhadap perubahan pH, dimana pH optimum untuk kehidupan biota perairan berkisar antara 7 – 8,5.

Untuk lebih jelasnya, hubungan antara pH air dan kehidupan hewan perairan dapat dilihat di Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Hubungan antara pH Air dan Kehidupan Hewan Perairan

| pH Air | Kondisi Kultur |
|-----------|---|
| < 4,5 | Air bersifat toksik. |
| 5 – 6,5 | Pertumbuhan hewan perairan terhambat dan dapat mempengaruhi ketahanan tubuhnya. |
| 6,5 – 9,0 | Pertumbuhan hewan perairan optimal. |
| > 9,0 | Pertumbuhan hewan perairan terhambat. |

Sumber: Dilapanga, 2009.

b. Oksigen Terlarut (*Dissolved Oxygen/DO*)

DO merupakan parameter penting untuk mengukur pencemaran air. DO di dalam air berasal dari udara dan dari proses fotosintesa tumbuhan air. DO memainkan peranan dalam menguraikan komponen-komponen kimia menjadi komponen yang lebih sederhana karena oksigen memiliki kemampuan untuk beroksidasi dengan zat pencemar seperti komponen organik sehingga zat pencemar tersebut menjadi tidak membahayakan. Kadar DO juga diperlukan oleh mikroorganisme *aerob* dan *anaerob* dalam proses metabolisme karena dengan adanya oksigen dalam air, maka mikroorganisme semakin giat dalam menguraikan kandungan yang terdapat di dalam air.

Secara umum kandungan oksigen dalam air berpengaruh terhadap kelarutan bahan-bahan kimiawi yang ada di dalam air tersebut. Jika reaksi penguraian komponen kimia dalam air terus berlangsung, maka kadar oksigen pun akan menurun dan pada klimaksnya, oksigen yang tersedia tidak cukup untuk

menguraikan komponen kimia tersebut sehingga keadaan yang demikian ini merupakan pencemaran berat pada air sungai. Adapun fungsi oksigen adalah berperan dalam proses metabolisme dan aktivitas pertumbuhan bagi biota air.

Begitu pula kelarutan oksigen dalam air umumnya ditentukan oleh suhu air, tekanan atmosfer, kandungan garam-garam terlarut, kualitas pakan organisme perairan, dan aktivitas biologi perairan (Reid dan Wood, 1976). Pada keadaan dimana terjadi peningkatan suhu, maka akan terjadi penurunan kelarutan oksigen dalam air. Kadar oksigen dalam air tawar pada suhu 25°C berkisar 8 mg/L. Sumber oksigen terlarut dapat berasal dari difusi oksigen yang ada di atmosfer (berkisar 30%) serta aktivitas tumbuhan air dan fitoplankton. Difusi oksigen yang berasal dari atmosfer dapat terjadi secara langsung pada saat air tidak bergerak dan selain itu proses pergolakan massa air juga akan mempercepat proses difusi tersebut. Pada proses pergolakan massa air tersebut, akan terjadi proses oksidasi air oleh oksigen yang ada di udara.

c. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

COD yaitu suatu uji yang menentukan jumlah total oksigen yang dibutuhkan oleh bahan oksidan untuk mengoksidasi bahan-bahan organik yang terdapat dalam air, baik yang dapat diuraikan secara biologi maupun yang tidak dapat diuraikan secara biologi (Nurdijanto, 2000). Hal ini karena bahan organik yang ada sengaja diurai secara kimia dengan menggunakan oksidator kuat seperti kalium bikromat ($K_2Cr_2O_7$) pada kondisi asam dan panas dengan katalisator perak sulfat (Boyd, 1998), sehingga segala macam bahan organik, baik yang mudah urai maupun yang kompleks dan sulit urai, akan teroksidasi. Didalam prosedur untuk menentukan nilai COD, jumlah oksigen yang dikonsumsi setara dengan jumlah dikromat yang diperlukan untuk mengoksidasi contoh uji. Metode pengukuran COD sedikit lebih kompleks, karena menggunakan peralatan khusus *reflux*, penggunaan asam pekat, pemanasan, dan titrasi (APHA, 1999).

Maka, selisih nilai antara COD dan BOD memberikan gambaran besarnya bahan organik yang sulit urai yang ada di perairan. Bisa saja nilai BOD sama dengan nilai COD, tetapi nilai BOD tidak bisa lebih besar dari nilai COD. Jadi COD menggambarkan jumlah total bahan organik yang ada. Adapun

kelemahannya adalah senyawa kompleks anorganik yang ada di perairan yang dapat teroksidasi juga ikut dalam reaksi (DeSanto, 1978), sehingga dalam kasus-kasus tertentu nilai COD mungkin sedikit ‘*over estimate*’ untuk gambaran kandungan bahan organik. Oleh karena Sungai Otomona diduga dicemari oleh limbah industri tambang maka parameter COD dipilih untuk mengetahui tingkat pencemaran dari air limbah industri.

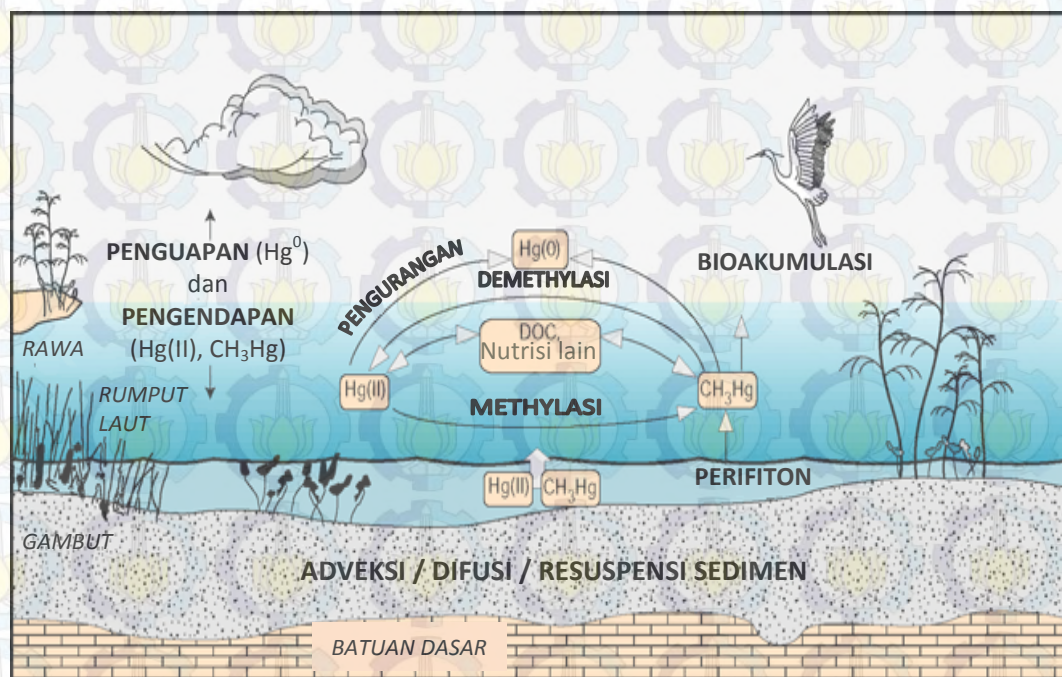
d. Merkuri (Hg)

Logam merkuri mempunyai nama kimia *hydragyrum* yang berarti cair, pada periodika unsur kimia menempati urutan nomor atom 80, bobot atom (BA) 200,59, dan densitas 13,55 gram/cm³ (Fardiaz, 1992). Merkuri muncul di lingkungan secara alamiah dan berada dalam beberapa bentuk yang pada prinsipnya dapat dibagi menjadi tiga bentuk utama (WHO, 2001):

- a. Merkuri Metal (*Elemental Mercury*), merupakan logam berwarna putih, berkilau dan pada suhu kamar berada dalam bentuk cairan dengan nilai kerapatan sebesar 13,534 g/ml. Logam ini biasa digunakan untuk termometer dan tombol listrik. Pada suhu kamar, cairan ini akan menguap dan membentuk Hg uap yang tidak berwarna dan tidak berbau.
- b. Senyawa Merkuri Anorganik, terjadi ketika Hg dikombinasikan dengan elemen lain seperti klorin (Cl), sulfur, atau oksigen. Senyawa ini biasa disebut dengan garam-garam Hg karena berbentuk bubuk putih atau kristal, kecuali merkuri sulfida (HgS) yang biasa disebut juga Chinabar, berwarna merah dan akan berubah menjadi hitam bila terkena sinar matahari. Oleh karena itu, HgS sering terbentuk pada dasar perairan yang anaerobik.
- c. Senyawa Merkuri Organik, terbentuk dari Hg dengan senyawa karbon atau organomerkuri. Senyawa ini banyak jenisnya, namun yang paling populer adalah methylmerkuri atau dengan nama lain monomethylmerkury (CH₃ – Hg – COOH). Methylmerkuri dapat terbentuk dari proses penguraian senyawa Hg di lingkungan oleh beberapa mikroorganisme dan fungi. Senyawa ini perlu diberi perhatian

khusus karena sering ditemukan dalam air bersih, ikan, dan mamalia air dengan kadar yang lebih tinggi dari kadarnya dalam air.

Jenis senyawa organomerkuri yang dikenal adalah phenylmerkuri yang banyak digunakan untuk produk komersial, sedangkan organomerkuri lainnya adalah dimethylmerkuri ($\text{CH}_3 - \text{Hg} - \text{CH}_3$) yang berupa cairan tidak berwarna dengan penggunaannya sebagai standar referensi tes kimia. Siklus merkuri di lingkungan dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Siklus Merkuri di Lingkungan (McPherson dkk., 2000).

Pada gambar di atas menceritakan bahwa tingkat metilasi merkuri dipengaruhi oleh proses-fisika-kimia biologis yang kompleks dan bervariasi dari hari ke hari, dari musim ke musim, dan di sepanjang gradien spasial. Proses metilasi merupakan transformasi merkuri anorganik menjadi merkuri organik berbentuk metil oleh aktivitas mikroorganisme anaerobik. Kandungan merkuri yang tinggi dapat merupakan hasil dari bioakumulasi rantai makanan methylmerkuri yang berasal dari sedimen dan interaksi perifiton air. Adapun yang dimaksud dengan perifiton adalah proses melekat atau menempelnya organisme

air ke tanaman dan benda-benda lain yang terdapat di bagian atas dasar sungai atau laut.

Pada kandungan demethylasi mikroba dalam sedimen dapat menunjukkan pola spasial yang kuat, sedangkan tingkat foto-demetilasi dapat dipengaruhi oleh akibat dari penurunan karbon organik terlarut (*Dissolved Organic Carbon/DOC*) dan hasil peningkatan penetrasi cahaya. Adapun sumber-sumber pencemar di sekitar badan air, seperti industri, rumah sakit, insinerator, tempat pembuangan sampah, pembangkit listrik, dan kegiatan perkotaan lainnya, dianggap bertanggung jawab atas tingginya kandungan merkuri di badan air tersebut.

Di perairan alami, merkuri juga hanya ditemukan dalam jumlah yang sangat kecil yang terserap dalam bahan-bahan partikulat dan mengalami presipitasi. Kadar merkuri pada perairan tawar alami berkisar antara 10 – 100 mg/L. Senyawa merkuri bersifat toksik bagi manusia dan hewan dikarenakan garam-garam merkuri yang terserap dalam usus akan terakumulasi di dalam ginjal dan hati, lalu diangkut oleh sel darah merah dan dapat mengakibatkan kerusakan pada otak. Ion methylmerkuri lima puluh kali lebih toksik daripada garam-garam merkuri yang anorganik dan memiliki masa tinggal (*retention time*) yang cukup lama di dalam tubuh manusia.

2.4.3. Parameter Mikrobiologi

Pada penelitian ini parameter mikrobiologi yang akan diteliti adalah total bakteri koliform yang terkandung dalam air sungai. Bakteri koliform merupakan golongan mikroorganisme yang sering digunakan sebagai indikator kualitas air karena densitasnya berbanding lurus dengan tingkat pencemaran air, dimana bakteri ini dapat menjadi tanda untuk menentukan suatu sumber air telah terkontaminasi oleh patogen (seperti virus, protozoa, dan parasit) atau tidak karena bakteri koliform dapat menghasilkan zat Etionin yang dapat menyebabkan kanker dan memproduksi bermacam-macam racun seperti indol dan skatol yang dapat menimbulkan penyakit bila jumlahnya berlebih di dalam tubuh. Sedangkan

bakteri koliform juga memiliki daya tahan yang lebih tinggi daripada patogen serta lebih mudah diisolasi dan ditumbuhkan.

2.5. Industri Pertambangan

Investasi pertambangan di suatu kawasan banyak diyakini akan membawa berkah yang besar bagi masyarakat di sekitar lokasi pertambangan tersebut. Oleh karenanya, pembangunan industri pada sektor pertambangan merupakan upaya pemerintah dalam menarik investasi dunia pertambangan dengan memberikan berbagai insentif bagi investor-investor pertambangan tersebut guna meningkatkan devisa negara dan sangat berhubungan langsung dengan peningkatan kebutuhan barang dan jasa, penggunaan sumber energi dan sumber daya alam, namun penggunaan dan pengelolaan sumber daya alam tersebut hendaknya tetap memperhatikan dampak yang dapat mengakibatkan perubahan kondisi lingkungan disekitarnya sehingga kualitas sumber daya alam juga tetap terjaga agar keuntungan dari segi ekonomi yang dibayangkan dapat terwujud seperti yang dijanjikan serta kondisi lingkungan dan masyarakat di sekitar lokasi pertambangan tidak mengalami penurunan kualitasnya.

Menurut Wardhana (2004), berbagai macam kegiatan industri dan teknologi yang ada saat ini apabila tidak disertai dengan program pengelolaan limbah yang baik akan memungkinkan terjadinya pencemaran, baik secara langsung maupun tidak langsung. Kegiatan pertambangan untuk mengambil bahan galian berharga dari lapisan bumi telah berlangsung sejak lama dan selama kurun waktu 50 tahun terakhir konsep dasar pengolahannya relatif tetap, yang berubah adalah skala kegiatannya.

Adapun pengelompokan bahan galian seringkali dibedakan menjadi tiga kelompok besar, yakni bahan galian *metalliferous*, *nonmetalliferous* dan bahan galian yang digunakan untuk bahan bangunan atau batuan ornamen. Pada kelompok bahan galian *metalliferous* antara lain adalah emas, besi, tembaga, timbal, seng, timah, mangan, sedangkan bahan galian *nonmetalliferous* terdiri dari batubara, kwarsa, bauksit, trona, borak, asbes, talk, feldspar dan batuan pospat.

Bahan galian untuk bahan bangunan dan batuan ornamen termasuk didalamnya slate, marmer, kapur, traprock, travertin, dan granit.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 27 Tahun 1980 tentang Penggolongan Bahan-bahan Galian, mineral (bahan galian) diklasifikasikan menjadi 3 golongan yakni:

- a. Golongan bahan galian yang strategis adalah: minyak bumi, bitumen cair, lilin bumi, gas alam; bitumen padat, aspal; antrasit, batu bara, batu bara muda; uranium, radium, thorium dan bahan-bahan galian radioaktif lainnya; nikel, kobalt dan timah.
- b. Golongan bahan galian yang vital adalah: besi, mangan, molibden, khrom, wolfram, vanadium, titan; bauksit, tembaga, timbal, seng; emas, platina, perak, air raksa, intan; arsen, antimony, bismut; yttrium, rhutenium, cerium, dan logam-logam langka lainnya; berillium, korundum; zircon, kristal kwarsa; kriolit, fluorspar, barit; yodium, brom, klor dan belerang.
- c. Golongan bahan galian yang tidak termasuk golongan a atau b adalah: nitrat, pospat, garam batu (halite); asbes, talk, mika, grafit, magnesit; yarosit, leusit, tawas, oker; batu permata, batu setengah permata; pasir kwarsa, kaolin, felspar, gips, bentonit; batu apung, tras, obsidian, perlit, tanah diatome, tanah serap; marmer, batu tulis; batu kapur, dolomit, kalsit; granit, andesit, basal, trakhit, tanah liat dan pasir sepanjang tidak mengandung unsur-unsur golongan a maupun b dalam jumlah yang berarti ditinjau dari segi ekonomi pertambangan.

Kegiatan pertambangan pada umumnya memiliki tahap-tahap kegiatan sebagai berikut:

1. Eksplorasi

Yang termasuk dalam kegiatan eksplorasi adalah pengamatan melalui udara, survey geofisika, studi sedimen di aliran sungai, studi geokimia, pembangunan jalan akses, pembukaan lahan untuk lokasi test pengeboran, pembuatan landasan pengeboran dan pembangunan anjungan pengeboran.

2. Ekstraksi dan Pembuangan Limbah Batuan

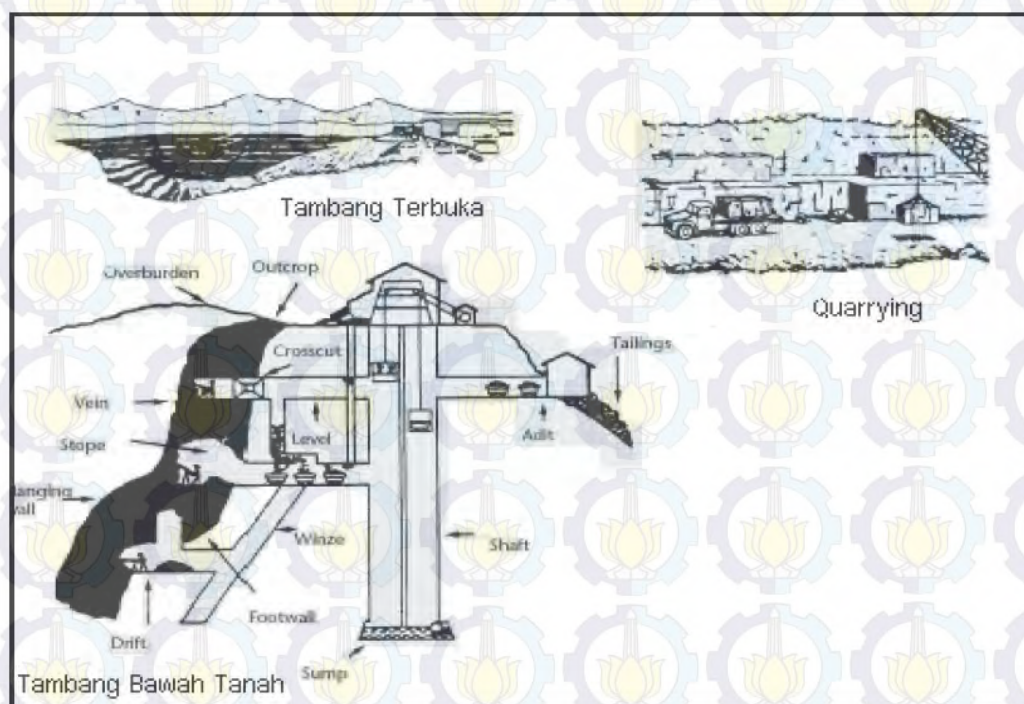
Pada saat ini dapat diperkirakan lebih dari 2/3 kegiatan ekstaksi bahan mineral di dunia dilakukan dengan teknik pertambangan terbuka. Teknik tambang terbuka ini biasanya dilakukan dengan *open-pit mining*, *strip mining*, dan *quarrying*, tergantung pada bentuk geometris tambang dan bahan yang akan digali. Proses ekstraksi bahan mineral dengan tambang terbuka sering menyebabkan terpotongnya puncak gunung dan menimbulkan lubang yang besar. Adapun salah satu teknik tambang terbuka adalah metode *strip mining* (tambang bidang) dengan menggunakan alat pengeruk, penggalian dilakukan pada suatu bidang galian yang sempit untuk mengambil mineral, lalu dibuat bidang galian baru di dekat lokasi galian yang lama dimana limbah batuan yang dihasilkan digunakan untuk menutup lubang yang dihasilkan oleh galian sebelumnya. Teknik tambang seperti ini biasanya digunakan untuk menggali deposit batubara yang tipis dan datar yang terletak di dekat permukaan tanah.

Untuk teknik *quarrying* bertujuan untuk mengambil batuan ornamen, bahan bangunan seperti pasir, kerikil, batu untuk urugan jalan, semen, beton dan batuan urugan jalan makadam. Pada pengambilan batuan ornamen diperlukan teknik khusus agar blok-blok batuan ornamen yang diambil memiliki ukuran, bentuk dan kualitas tertentu, sedangkan pengambilan bahan bangunan tidak memerlukan teknik yang khusus yaitu menggunakan teknik yang serupa dengan teknik tambang terbuka.

Sedangkan untuk teknik tambang bawah tanah digunakan jika zona mineralisasi terletak jauh di dalam tanah sehingga jika digunakan teknik pertambangan terbuka jumlah batuan penutup yang harus dipindahkan sangat besar. Produktifitas tambang tertutup 5 sampai 50 kali lebih rendah dibanding tambang terbuka, karena ukuran alat yang digunakan lebih kecil dan akses ke dalam lubang tambang lebih terbatas.

Proses ekstraksi menghasilkan limbah dan produk samping dalam jumlah yang sangat banyak. Total limbah yang diproduksi dapat bervariasi antara 10% sampai sekitar 99,99% dari total bahan yang ditambang

dimana limbah utama yang dihasilkan adalah batuan penutup dan limbah batuan. Batuan penutup (*overburden*) dan limbah batuan adalah lapisan batuan yang tidak mengandung mineral, yang menutupi atau berada diantara zona mineralisasi atau batuan yang mengandung mineral dengan kadar rendah sehingga tidak ekonomis untuk diolah dan pada umumnya terdiri dari tanah permukaan dan vegetasi, sedangkan batuan limbah meliputi batuan yang dipindahkan pada saat pembuatan terowongan, pembukaan dan eksploitasi singkapan bijih serta batuan yang berada bersamaan dengan singkapan bijih. Pada Gambar 2.2 menampilkan teknik-teknik ekstraksi bahan mineral seperti yang telah dijelaskan.



Gambar 2.2. Teknik-teknik Ekstraksi Bahan Mineral (US-EPA, 1995)

Pada saat bijih ditambang dan *overburden* yang mengandung sulfida terpapar, maka reaksi air, oksigen dan bakteri alami menjadi tidak stabil dan berpotensi membentuk asam belerang yang dapat melarutkan logam yang terkandung di dalam batuan *overburden* dan terbawa dalam sistem pembuangan air, dan apabila tidak dikelola dengan baik dapat

menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Proses tersebut dikenal dengan nama air asam tambang (*Acid Rock Drainage/ARD*).

Hal-hal pokok yang perlu mendapatkan perhatian di dalam hal menentukan besar dan pentingnya dampak lingkungan pada kegiatan ekstraksi dan pembuangan limbah adalah:

- Luas dan kedalaman zona mineralisasi.
- Jumlah batuan yang akan ditambang dan yang akan dibuang yang akan menentukan lokasi dan desain penempatan limbah batuan.
- Kemungkinan sifat racun limbah batuan.
- Potensi terjadinya air asam tambang.
- Dampak terhadap kesehatan dan keselamatan yang berkaitan dengan kegiatan transportasi, penyimpanan dan penggunaan bahan peledak dan bahan kimia racun, bahan radio aktif di kawasan penambangan dan gangguan pernapasan akibat pengaruh debu.
- Sifat-sifat geoteknik batuan dan kemungkinan untuk penggunaannya untuk konstruksi sipil (seperti untuk landscaping, dam Sirsat, atau lapisan lempung untuk pelapis tempat pembuangan Sirsat).
- Pengelolaan (penampungan, pengendalian dan pembuangan) lumpur (untuk pembuangan *overburden* yang berasal dari sistem penambangan *dredging* dan *placer*).
- Kerusakan bentang lahan dan keruntuhan akibat penambangan bawah tanah.
- Terlepasnya gas metan dari tambang batubara bawah tanah.

Dampak potensial yang timbul akibat kegiatan ekstraksi dan pembuangan limbah ini akan berpengaruh terhadap komponen lingkungan seperti kualitas air dan hidrologi, flora dan fauna, hilangnya habitat alamiah, pemindahan penduduk, hilangnya peninggalan budaya atau situs-situs keagamaan dan hilangnya lahan pertanian serta sumber daya kehutanan.

3. Pengolahan Bijih dan Operasional Pabrik Pengolahan

Proses pengolahan bijih bertujuan untuk mengatur ukuran partikel bijih, menghilangkan bagian-bagian yang tidak diinginkan, meningkatkan kualitas, kemurnian atau *grade* bahan yang diproduksi. Proses ini biasanya terdiri dari penghancuran, penggilingan, pencucian, pelarutan, kristalisasi, penyaringan, pemilahan, pembuatan ukuran tertentu, *sintering* (penggunaan tekanan dan panas dibawah titik lebur untuk mengikat partikel-partikel logam), *pellettizing* (pembentukan partikel-partikel logam menjadi butiran-butiran kecil), kalsinasi untuk mengurangi kadar air dan/atau karbondioksida, *roasting* (pemanngangan), pemanasan, klorinasi untuk persiapan proses lindian, pengentalan secara gravitasi, pemisahan secara magnetis, pemisahan secara elektrostatis, flotasi (pengapungan), penukar ion, ekstraksi pelarut, *electrowining*, presipitasi, amalgamasi dan *heap leaching*.

Proses pengolahan yang paling umum dilakukan adalah pemisahan secara gravitasi (digunakan untuk cadangan emas *placer*), penggilingan dan pengapungan (digunakan untuk bijih besi yang bersifat basa), pelindian (dengan menggunakan tangki atau *heap leaching*); pelindian timbunan (digunakan untuk bijih tembaga kadar rendah) dan pemisahan secara magnetis. Sedangkan tipikal langkah-langkah pengolahan meliputi penggilingan, pencucian, penyaringan, pemilahan, penentuan ukuran, pemisahan secara magnetik, oksidasi bertekanan, pengapungan, pelindian, pengentalan secara gravitasi, dan penggumpalan (*pelletizing*, *sintering*, *briquetting*, atau *nodulizing*).

Proses pengolahan bijih menghasilkan partikel berukuran seragam, dengan menggunakan alat penghacur dan penggilingan pada tiga tahap penghancuran untuk memperoleh ukuran yang diinginkan. Hasil olahan bijih berbentuk lumpur yang kemudian dipompakan ke proses pengolahan lebih lanjut. Proses pemisahan magnetik digunakan untuk memisahkan bijih besi dari bahan yang memiliki daya magnetik lebih rendah. Ukuran partikel dan konsentrasi padatan menentukan jenis proses pemisahan magnetik yang akan digunakan.

Teknik pengapungan menggunakan bahan kimia untuk mengikat kelompok senyawa mineral tertentu dengan gelembung udara. Beberapa bahan kimia yang digunakan termasuk *collectors*, *frothers*, *antifoams*, *activators*, and *depressants*; tergantung karakteristik bijih yang diolah dapat mengandung sulfur dioksida, asam sulfat, senyawa sianida, kresol, tergantung pada karakteristik bijih yang ditambang.

Proses pemisahan gravitasi menggunakan perbedaan berat jenis mineral untuk meningkatkan konsentrasi bijih. Ukuran partikel merupakan faktor penting dalam proses pengolahan, sehingga ukuran tetap dijaga agar seragam dengan menggunakan saringan atau *hydrocyclon*. Sirsat padat ditimbun di kolam penampungan, airnya biasanya didaur ulang sebagai air proses pengolahan. Untuk meningkatkan efisiensi pemadatan, maka ditambahkan flokulan kimia seperti aluminium sulfat, kapur, besi, garam kalsium, dan kanji.

Pelindian adalah proses untuk mengambil senyawa logam terlarut dari bijih dengan melarutkan secara selektif senyawa tersebut ke dalam suatu pelarut seperti air, asam sulfat dan asam klorida atau larutan sianida.

Logam yang diinginkan kemudian diambil dari larutan tersebut dengan pengendapan kimiawi atau bahan kimia yang lain atau proses elektrokimia. Beberapa metode pelindian dapat berbentuk timbunan, *heap* atau tangki, dimana metode pelindian *heap leaching* banyak digunakan untuk pertambangan emas sedangkan pelindian dengan timbunan banyak digunakan untuk pertambangan tembaga.

Pengolahan bijih pada umumnya terdiri dari proses *benefication* dimana bijih yang ditambang di proses menjadi konsentrat bijih untuk diolah lebih lanjut atau dijual langsung, diikuti dengan pengolahan *metalurgi* dan *refining*. Proses *benefication* umumnya terdiri dari kegiatan persiapan, penghancuran dan atau penggilingan, peningkatan konsentrasi dengan gravitasi atau pemisahan secara magnetis atau dengan menggunakan metode *flotasi* (pengapungan), yang diikuti dengan pengawaaian (*dewatering*) dan penyaringan. Hasil dari proses ini adalah

konsentrat bijih dan limbah dalam bentuk Sirsat dan serta emisi debu.

Sirsat biasanya mengandung bahan kimia sisa proses dan logam berat.

Pengolahan metalurgi bertujuan untuk mengisolasi logam dari konsentrat bijih dengan metode pirometalurgi, hidrometalurgi atau elektrometalurgi baik dilakukan sebagai proses tunggal maupun kombinasi. Proses pirometalurgi seperti *roasting* (pembakaran) dan *smelting* menyebabkan terjadinya gas buang ke atmosfer (seperti: sulfur dioksida, partikulat dan logam berat) dan *slag*.

Metode hidrometalurgi pada umumnya menghasilkan bahan pencemar dalam bentuk cair yang akan terbuang ke kolam penampung Sirsat jika tidak digunakan kembali (*recycle*). Adapun pengaruh angin yang berhembus dapat menyebarkan Sirsat kering sehingga dapat menyebabkan terjadinya pencemaran udara. Bahan-bahan kimia yang digunakan di dalam proses pengolahan (seperti sianida, merkuri, dan asam kuat) bersifat berbahaya. Oleh karena itu, sebaiknya pengangkutan, penyimpanan, penggunaan, dan pembuangannya memerlukan pengawasan ketat untuk mencegah terjadinya gangguan terhadap kesehatan dan keselamatan manusia serta mencegah pencemaran ke lingkungan. Karakteristik proses dan limbah yang dihasilkan dari kegiatan pertambangan dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Karakteristik Proses dan Limbah Kegiatan Pertambangan

| SEKTOR | TIPE TAMBANG | PROSES PENGOLAHAN | LIMBAH UTAMA |
|-------------|--|--|---|
| Emas, Perak | <ul style="list-style-type: none"> - Terbuka - Tambang bawah tanah | <ul style="list-style-type: none"> - Sianida - Elusi - <i>Electrowining</i> (Pengendapan seng) - Penggerusan - Amalgamasi | <ul style="list-style-type: none"> - Air tambang - Limbah batuan/<i>overburden</i> - Larutan sisa proses - Sirsat - Sisa bijih |
| Emas Placer | <ul style="list-style-type: none"> - Terbuka (permukaan) | <ul style="list-style-type: none"> - Pemisahan gravitasi - Pengerusan, pencucian dan pemisahan partikel halus - Pemisahan magnetis | <ul style="list-style-type: none"> - Air tambang - Limbah batuan/<i>overburden</i> - Sirsat |

| SEKTOR | TIPE TAMBANG | PROSES PENGOLAHAN | LIMBAH UTAMA |
|--------------|---|--|---|
| Timbal, Seng | - Bawah tanah | - Penggilingan - Pengapungan (flotasi) - <i>Sintering</i> - <i>Smelting</i> | - Air tambang - Limbah batuan/ <i>overburden</i> - Larutan sisa proses - Slag |
| Tembaga | - Permukaan (terbuka) - Bawah tanah - In situ | - Penggilingan - Pengapungan (flotasi) - Pelindian dengan asam - SX/EW <i>Recovery</i> - <i>Smelting</i> (presipitasi besi) | - Air tambang - Limbah batuan/ <i>overburden</i> - Larutan sisa proses - Sirsat - Slag - Sisa bijih |
| Besi | - Permukaan (terbuka) - Bawah tanah | - Penggilingan - Pemisahan magnetik - Pemisahan gravitasi - Pengapungan (flotasi) - Penggabungan (agglomerasi) - <i>Blast Furnace</i> | - Air tambang - Limbah batuan/ <i>overburden</i> - Sirsat - Slag |

Sumber: US-EPA 310-R-95-008, 1995.

4. Penampungan Sirsat, Pengolahan dan Pembuangannya

Perlu diketahui bahwa pengelolaan Sirsat merupakan salah satu aspek kegiatan pertambangan yang menimbulkan dampak lingkungan sangat penting. Adapun Sirsat biasanya berbentuk lumpur dengan komposisi 40-70% cairan. Penampungan Sirsat, pengolahan dan pembuangannya memerlukan pertimbangan yang teliti terutama untuk kawasan yang rawan gempa. Kegagalan desain dari sistem penampungan Sirsat akan menimbulkan dampak yang sangat besar dan dapat menjadi pusat perhatian media serta protes dari berbagai pihak.

Pengendalian pencemaran dari pembuangan Sirsat selama proses operasi harus memperhatikan pencegahan timbulnya rembesan, pengolahan fraksi cair Sirsat, pencegahan erosi oleh angin, dan mencegah pengaruhnya terhadap hewan-hewan liar. Isu-isu penting yang perlu dipertimbangkan dalam evaluasi alternatif pembuangan Sirsat meliputi:

- Karakteristik geokimia area yang akan digunakan sebagai tempat penimbunan dan potensi migrasi lindian dari Sirsat.
- Daerah rawan gempa atau bencana alam lainnya yang mempengaruhi keamanan lokasi dan desain teknis.
- Konflik penggunaan lahan terhadap perlindungan ekologi peninggalan budaya, pertanian serta kepentingan lain seperti perlindungan terhadap ternak, binatang liar dan penduduk lokal.
- Karakteristik kimia pasir, lumpur, genangan air dan pengolahannya.
- Reklamasi setelah pasca tambang.

Berikut ini adalah contoh dari dampak pengelolaan Sirsat yang tampak pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Dampak Pengelolaan Sirsat (Sumber: PT. Freeport Indonesia, 2007)

Adapun faktor-faktor pertimbangan di dalam menilai kesesuaian penampungan Sirsat (Australia EPA, 1996) adalah:

1) Tuntutan Peraturan

Tuntutan peraturan pemerintah yang mencakup seluruh aspek dari areal penimbunan yang direncanakan di masa depan harus disertakan di dalam penilaian suatu areal. Hal tersebut mencakup:

- tuntutan baku mutu bagi pelepasan air
- nilai budaya dan sejarah dari suatu tempat termasuk nilainya bagi penduduk pribumi
- tuntutan akan rancangan khusus terhadap misalnya gempa bumi, peluang-peluang terjadinya banjir
- emisi debu dan polusi suara
- rencana-rencana dari berbagai pihak yang berwenang termasuk pengangkutan, pengembangan perkotaan, sarana-sarana (penyaluran tenaga listrik, jaringan suplai air, dan sebagainya
- zonasi dari areal penimbunan Sirsat dan daerah sekitarnya (kegiatan-kegiatan yang diijinkan pihak berwenang), dan kemungkinan perubahan dari zonasi sekarang.

2) Metereologi

Ada berbagai aspek neraca air dari operasi yang harus didasarkan pada pengertian yang mendalam mengenai kondisi metereologi daerah setempat. Informasi yang harus dikumpulkan termasuk:

- data curah hujan (rata-rata setiap bulan untuk berbagai priode ulang 1:10, 1:20, 1:50, 1:100)
- data intensitas/lama hujan
- pengukuran evaporasi (panci evaporasi klas A)
- pengukuran kelembaban, suhu dan radiasi matahari
- kekuatan/arah angin pada berbagai waktu yang berbeda dalam setahun
- pengetahuan tentang kejadian masa seperti angin topan dan banjir.

3) Topografi dan Pemetaan

Topografi dari bangunan jangka panjang dan daerah-daerah penyangga sejauh sekitar 1 km dari batas-batas daerah yang akan menjadi areal penimbunan harus diteliti. Informasi ini akan memungkinkan dilakukan penilaian akan potensi dampak-dampak sosial dan lingkungan dari fasilitas yang diusulkan pada tahap-tahap yang paling awal dari perencanaan. Informasi ini harus termasuk :

- kontur-kontur permukaan dengan interval 1 meter.
- pola-pola drainase (aliran-aliran, mata air, danau, lahan basah).
- batas-batas tanah.
- jaringan jalan dan pelayanan.
- tempat tinggal dan bangunan lainnya.
- tempat-tempat budaya atau bersejarah.
- tata guna lahan saat ini (RUTRW)

4) Fotografi

Adapun fotografi dapat menjadi suatu alat penting untuk membantu penilaian estetika dan potensi dampak lingkungan dari areal penimbunan yang diusulkan. Hal ini termasuk:

- foto-foto udara dari kepemilikan lahan dan daerah sekitarnya
- foto-foto darat yang diambil dari berbagai sudut yang bermanfaat
- foto-foto sejarah

5) Air Permukaan Tanah

Apabila areal penimbunan Sirsat yang terpilih berada dekat sungai-sungai atau daerah-daerah yang sering mengalami banjir, potensi dampak dari hujan lebat pada frekuensi rendah perlu dipertimbangkan.

Informasi yang dibutuhkan termasuk:

- aliran-aliran pada batang-batang air alami (data hidrografis seperti ciri-ciri limpasan air hujan)
- catatan-catatan banjir dan identifikasi dataran banjir yang mungkin
- latar belakang baku mutu air

- tata guna air di hulu dan di hilir termasuk aliran-aliran lingkungan untuk memelihara habitat-habitat bagi flora dan fauna

6) Air Bawah Tanah

Pemahaman pengertian tentang hidrogeologi umum dari suatu tempat dapat membantu penilaian potensi dampak dari penimbunan Sirsat terhadap air bawah tanah. Informasi yang penting termasuk:

- hidrogeologi tempat (kedalaman hingga air, arah aliran, kecepatan aliran)
- keberadaan jalur-jalur aliran yang dikehendaki
- latar belakang baku mutu air
- tata guna air di hulu dan di hilir
- zona pengeluaran air bawah tanah

7) Geoteknis

Adapun tumpukan-tumpukan Sirsat pada awalnya lazim dibangun dari tanah setempat. Dalam hal ini ketersediaan dan kesesuaian tanah harus dinilai dipermulaan proses pembangunan dan harus mencakup:

- kondisi pondasi (jenis-jenis tanah di berbagai kedalaman, distribusi ukuran partikel, presentase partikel halus, Nilai Atterberg atau plastisitas tanah, kekuatan tanah, ciri-ciri permeabilitas, mineralogi)
- ketersediaan bahan-bahan bangunan seperti tanah liat, pasir, batu kerikil
- adanya batu-batuan, struktur dari lapisan batu-batuan
- data resiko gempa

8) Geokimia

Apabila cairan Sirsat berhubungan dengan tanah alamiah, sejumlah interaksi geokimia dapat terjadi. Melakukan analisa jangka panjang adalah praktek yang baik karena akan membangun informasi yang membantu tercapainya pengertian tentang interaksi-interaksi tersebut.

9) Sifat-sifat Sirsat

Seluruh sifat Sirsat perlu diketahui ketika merancang fasilitas-fasilitas yang berkaitan dengan kemungkinan rembesan air bawah tanah dan pelepasan air. Termasuk didalamnya:

- kandungan mineral dan kimia partikel-partikel padat
- kandungan logam berat
- kandungan radio-nuklida
- gaya berat spesifik partikel-partikel padat
- perilaku pengendapan
- hubungan antara permeabilitas dan berat jenis
- plastisitas tanah (Nilai Atterberg)
- perilaku konsolidasi
- rheologi (aliran cairan yang mengandung partikel-partikel tersuspensi/ ciri-ciri kekentalan).
- ciri-ciri kekuatan Sirsat
- kimiawi air pori (air diantara pori-pori tanah)
- sifat-sifat pencucian air tawar

5. Pembangunan Infrastruktur, Jalan Akses dan Sumber Energi

Adapun kegiatan pembangunan infrastruktur meliputi pembuatan akses di dalam daerah tambang, pembangunan fasilitas penunjang pertambangan, akomodasi tenaga kerja, pembangkit energi baik untuk kegiatan konstruksi maupun kegiatan operasi dan pembangunan pelabuhan. Termasuk dalam kegiatan ini adalah pembangunan sistem pengangkutan di kawasan tambang (misalnya: *crusher*, ban berjalan, rel kereta, kabel gantung, sistem perpipaan untuk mengangkut Sirsat atau konsentrat bijih).

Dampak lingkungan, sosial dan kesehatan yang ditimbulkan oleh kegiatan ini dapat bersifat sangat penting dan dipengaruhi oleh faktor-faktor:

- 1) Letak dan lokasi tambang terhadap infrastruktur dan sumber energi.

2) Jumlah kegiatan konstruksi dan tenaga kerja yang diperlukan serta tingkat migrasi pendatang.

3) Letak kawasan konsensi terhadap kawasan lindung dan habitat alamiah, sumber air bersih dan badan air, pemukiman penduduk setempat dan tanah yang digunakan oleh masyarakat adat.

4) Tingkat kerawanan kesehatan penduduk setempat dan pekerja terhadap penyakit menular seperti malaria, AIDS, dan *schistosomiasis*.

6. Pembangunan Kamp Kerja dan Kawasan Pemukiman

Seperti sudah diketahui bahwa kebutuhan tenaga kerja dan kualifikasi yang dibutuhkan untuk kegiatan pertambangan seringkali tidak dapat dipenuhi dari penduduk setempat. Sehingga tenaga kerja terampil perlu didatangkan dari luar karena diperlukan pembangunan infrastruktur yang sangat besar.

Jika jumlah sumber daya alam dan komponen-komponen lingkungan lainnya sangat terbatas sehingga tidak dapat memenuhi kebutuhan pendatang, sumber daya alam akan mengalami degradasi secara cepat.

Akibatnya akan terjadi konflik sosial karena persaingan pemanfaatan sumber daya alam. Adapun kegiatan pertambangan seringkali dikaitkan dengan kerusakan hutan, kontaminasi dan penurunan penyediaan air bersih, musnahnya hewan liar dan perdagangan hewan langka, serta penyebaran penyakit menular.

7. Decomisioning dan Penutupan Tambang

Setelah ditambang selama masa tertentu cadangan bijih tambang akan menurun dan tambang harus ditutup karena tidak ekonomis lagi. Oleh karena tidak mempertimbangkan aspek lingkungan, banyak lokasi tambang yang ditelantarkan dan tidak ada usaha untuk rehabilitasi. Maka pada prinsipnya kawasan atau sumber daya alam yang dipengaruhi oleh kegiatan pertambangan harus dikembalikan ke kondisi yang aman dan produktif melalui rehabilitasi. Kondisi akhir rehabilitasi dapat diarahkan untuk mencapai kondisi seperti sebelum ditambang atau kondisi lain

yang telah disepakati. Tetapi, uraian di atas tidak menyarankan agar kegiatan rehabilitasi dilakukan setelah tambang selesai karena reklamasi seharusnya merupakan kegiatan yang terus menerus dan berlanjut sepanjang umur pertambangan.

Adapun tujuan jangka pendek rehabilitasi adalah membentuk bentang alam (*landscape*) yang stabil terhadap erosi dan untuk mengembalikan lokasi tambang ke kondisi yang memungkinkan untuk digunakan sebagai lahan produktif. Bentuk lahan produktif yang akan dicapai menyesuaikan dengan tataguna lahan pasca tambang. Penentuan tataguna lahan pasca tambang sangat tergantung pada berbagai faktor antara lain potensi ekologis lokasi tambang dan keinginan masyarakat serta pemerintah. Sebaiknya bekas lokasi tambang yang telah di rehabilitasi harus dipertahankan agar tetap terintegrasi dengan ekosistem bentang alam sekitarnya.

Teknik rehabilitasi meliputi *regarding*, *reconturing*, penanaman kembali permukaan tanah yang tergradasi, penampungan dan pengelolaan racun dan air asam tambang dengan menggunakan penghalang fisik maupun tumbuhan untuk mencegah erosi atau terbentuknya air asam tambang.

Adapun aspek sosial ekonomi selama tahap *decomisioning* juga perlu diperhatikan khususnya eksistensi dan daya tahan ekonomi masyarakat setempat yang tergantung pada kegiatan pertambangan, karena disamping hilangnya pendapatan, kelanjutan penyediaan fasilitas sosial seperti sarana air bersih, air limbah, listrik dan pelayanan kesehatan menjadi tidak jelas karena biasanya disediakan langsung oleh industri pertambangan. Dengan selesainya kegiatan pertambangan, perlu diperjelas institusi yang akan mengelola fasilitas sosial tersebut.

Analisa alternatif tambang pada umumnya sangat dibatasi oleh lokasi zona mineralisasi yang tetap dan tuntutan untuk memenuhi kebutuhan pasar atas logam mulia dan mineral yang ditambang dengan hendaknya mempertimbangkan:

- metode penambangan dan proses yang digunakan.
- pilihan pengangkutan Sirsat dan bijih (*conveyor*, jalan, rel, sistem pipa)

- sumber air dan sistem manajemen air .
- alternatif pengelolaan Sirsat.
- lokasi pabrik pengolahan, lokasi penimbunan Sirsat, lokasi penimbunan limbah, lokasi bangunan kamp kerja, lokasi pemukiman karyawan, sumber energi dan rute akses jalan .

Prodjosumarto (1992) telah mengidentifikasi beberapa upaya pengelolaan yang sering digunakan bagi kegiatan pertambangan di Indonesia. Upaya-upaya pengelolaan tersebut diuraikan sebagai berikut:

1. Tahap Persiapan Penambangan (*Mining Development*)

Pembukaan atau pembersihan lahan (*land clearing*) sebaiknya dilaksanakan secara bertahap, artinya hanya bagian lahan yang akan langsung atau segera ditambang. Setelah pembersihan lahan selesai, maka tanah pucuk (*top soil*) yang berhumus dan biasanya subur jangan dibuang bersama-sama dengan tanah penutup yang biasanya tidak subur, melainkan harus diselamatkan dengan cara menimbun ditempat yang sama, kemudian ditanami dengan tumbuh-tumbuhan penutup yang sesuai (rumput-rumputan dan semak-semak), sehingga pada saatnya nanti masih dapat dimanfaatkan untuk keperluan reklamasi lahan bekas tambang.

Pada saat mengupas tanah penutup (*stripping of overburden*) jalan-jalan angkut yang dilalui alat-alat angkut akan berdebu, oleh sebab itu perlu disiram air secara berkala. Bila keadaan lapangan memungkinkan, hasil pengupasan tanah penutup jangan diibuang kearah lembah-lembah yang curam, karena hal ini akan memperbesar erodibilitas lahan yang berarti akan menambah jumlah tanah yang akan terbawa air sebagai lumpur dan menurunkan kemantapan lereng (*slope stability*). Apabila tumpukan tanah tersebut berada di tempat penimbunan yang relatif datar, maka tumpukan itu harus diusahakan berbentuk jenjang- jenjang (*benches*) dengan kemiringan keseluruhan (*overall bench slope*) yang landai. Disamping itu cara pengupasan tanah penutup sebaiknya memakai metode nisbah pengupasan yang konstan (*Constant Stripping Ratio Method*) atau metode nisbah pengupasan yang semakin besar (*Increasing*

Stripping Ratio Method) sehingga luas lahan yang terakup tidak sekaligus besar.

2. Tahap Penambangan

Pada metode penambangan bawah tanah (*underground mining*) dampak negatifnya terhadap lingkungan hidup agak terbatas. Namun, yang perlu diperhatikan dan diwaspadai adalah dampak pembuangan batuan samping (*country rock/waste*) dan air berlumpur hasil penirisan tambang (*mine drainage*). Sedangkan metode ambrukan (*caving method*) dapat merusak bentang alam (*landscape*) atau morfologi, karena terjadinya amblesan (*surface subsidence*). Adapun metode penambangan bawah tanah yang dapat mengurangi timbulnya gas-gas beracun dan berbahaya adalah penambangan dengan “auger” (*auger mining*), karena untuk pemberaiannya (*loosening*) tidak memakai bahan peledak.

Sehingga ntuk menekan terhamburnya debu ke udara, maka harus dilakukan penyiraman secara teratur di sepanjang jalan angkut, tempat-tempat pemuatan, penimbunan dan peremukan (*crushing*), bahkan di setiap tempat perpindahan (*transfer point*) dan peremukan sebaiknya diberi bangunan penutup serta unit penghisap debu. Sedangkan untuk menghindari timbulnya getaran (*ground vibration*) dan lemparan batu (*fly rock*) yang berlebihan sebaiknya diterapkan metode peledakan yang benar, misalnya dengan menggunakan detonator tunda (*millisecond delay detonator*) dan peledakan geometri (*blasting geometry*) yang tepat.

Adapun lumpur dari penirisan tambang tidak boleh langsung dibuang ke badan air (sungai, danau atau laut), tetapi harus ditampung lebih dahulu di dalam kolam-kolam pengendapan (*settling pond*) atau unit pengolahan limbah (*treatment plant*) terutama sekali bila badan air bebas itu dipakai untuk keperluan domestik oleh penduduk yang bermukim disekitarnya.

Maka, sebaiknya segera melaksanakan reklamasi/rehabilitasi/restorasi yang baik terhadap lahan-lahan bekas penambangan, misalnya dengan meratakan daerah-daerah penimbunan tanah penutup atau bekas penambangan yang telah ditimbun kembali (*back filled areas*) kemudian

ditanami vegetasi penutup (*ground cover vegetation*) yang nantinya dapat dikembangkan lebih lanjut menjadi lahan pertanian atau perkebunan. Untuk cekungan-cekungan bekas penambangan yang berubah menjadi genangan-genangan air atau kolam-kolam besar sebaiknya dapat diupayakan agar dapat dikembangkan pula menjadi tempat budidaya ikan atau tempat rekreasi.

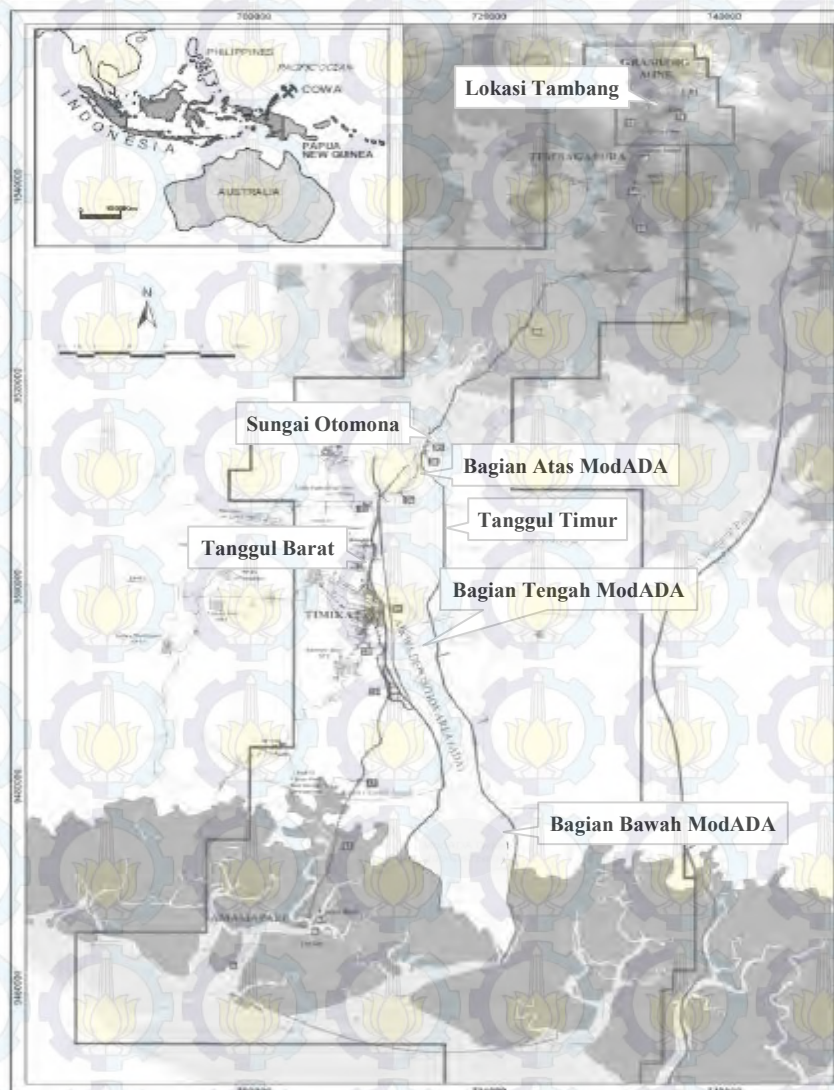
2.6. Pasir Sisa Tambang (Sirsat)

Defenisi Sirsat yang sering juga disebut dengan *tailing* merupakan material yang berupa gerusan halus batuan alami yang tersisa setelah konsentrat diambil dari gerusan bijih mineral di pabrik pengolahan dan merupakan salah satu limbah terbesar yang dihasilkan dari suatu kegiatan pertambangan.

Sirsat juga dapat dikatakan sebagai sampah dan berpotensi mencemarkan lingkungan baik dilihat dari volume yang dihasilkan maupun potensi rembesan yang mungkin terjadi pada daerah pengendapan. Pada umumnya Sirsat masih mengandung mineral-mineral berharga yang dikarenakan oleh pengolahan bijih untuk memperoleh mineral yang dapat dimanfaatkan pada industri pertambangan tidak akan mencapai perolehan 100%. Yang menjadi penyebabnya adalah kekerasan batuan bijih yang mengakibatkan hasil giling cenderung lebih kasar dan mengakibatkan perolehan (*recovery*) menurun disertai semakin rendahnya kandungan mineral di dalam konsentrat.

Selain itu, kehalusan dari ukuran butiran mineral juga dapat menyebabkan sulitnya tercapai liberasi (*liberation*), sehingga keberadaan Sirsat dalam dunia pertambangan tidak dapat dihindari. Sehingga sistem pengelolaan pembuangan Sirsat yang tidak terpadu dapat mengakibatkan pencemaran terhadap lingkungan disekitarnya, diantaranya adalah potensi pembentukan air asam batuan yang dapat mengganggu kualitas air sungai.

Pada Gambar 2.4 menampilkan secara keseluruhan lokasi pengendapan Sirsat di Sungai Otomona.



Gambar 2.4. Peta Lokasi Pengendapan Sirsat di Sungai Otomona (Sumber: PT. Freeport Indonesia, 2007)

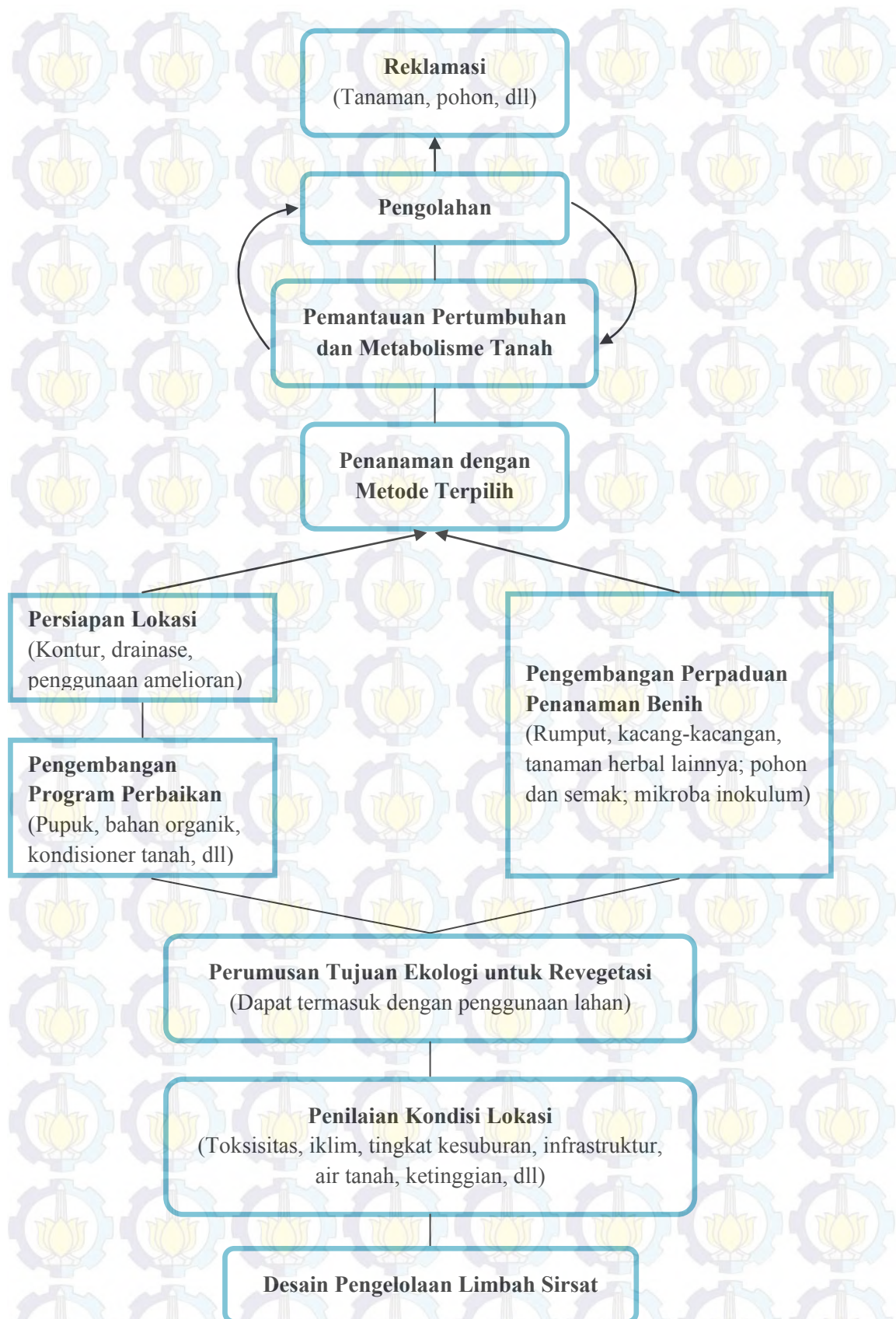
Perusahaan investor penambangan bijih mineral yang beroperasi sejak tahun 1973 di kawasan seluas 289.500 hektar di Kabupaten Mimika Provinsi Papua dan berada diantara ketinggian 2.700 meter dan 4.200 meter di atas permukaan laut ini pada tahun 2012 menghasilkan sekitar 58 juta metrik ton Sirsat. Sistem pengelolaan Sirsat yang cukup komprehensif dan terkendali telah dilakukan dengan menggunakan aliran sungai untuk mengangkut Sirsat ke kawasan dataran rendah yang disebut sebagai *Modified Ajkwa Deposition Area* (ModADA) dan melibatkan pembangunan struktur penampung lateral atau

tanggul untuk daerah pengendapan. Sistem ini dipilih dan disetujui berdasarkan berbagai studi teknis (termasuk 14 pilihan pembuangan Sirsat, yaitu diantaranya analisa data penginderaan jarak jauh, evaluasi terhadap berbagai opsi pemipaan, kajian berbagai pertimbangan geoteknis, dampak banjir dan hidrologi, dan serangkaian analisa risiko) dan proses review multi-tahun yang termasuk didalamnya adalah dokumen AMDAL yang telah selesai disusun dan disetujui pemerintah pada tahun 1997. Pada audit lingkungan periodik independen mengkonfirmasi sistem pengelolaan dengan menggunakan aliran Sungai Otomona untuk mengangkut Sirsat ke kawasan dataran rendah yang disebut sebagai ModADA dengan luas kawasan mencapai sekitar 230 kilometer persegi merupakan alternatif terbaik, mengingat geoteknik, kondisi topografi, iklim, dan gempa yang sering terjadi.

Pembangunan sebuah tanggul tambahan dilakukan pada tahun 1998 di bagian timur tanggul barat yang sudah ada sebelumnya dan menjadi perbatasan bagian barat dari daerah pengendapan Sirsat serta membentuk sebuah saluran baru yang terletak di antara tanggul baru dan tanggul lama. Untuk memenuhi komitmen kepada Pemerintah Indonesia, pada tahun 2005 perusahaan pertambangan menyelesaikan pekerjaan pengalihan Sungai Ajkwa ke saluran baru tersebut, yang lebih menyerupai aliran asli Sungai Ajkwa. Adapun teknik-teknik penahan Sirsat antara lain: penggunaan penyaring hayati (*bio-filter*) dengan penanaman rumput *phragmites* dan bakau; *permeable groin*; struktur pengalih aliran; dan berbagai aplikasi rekayasa lainnya.

Pada daerah pengendapan Sirsat telah dilakukan reklamasi dengan menggunakan vegetasi alamiah yang diharapkan dapat dimanfaatkan untuk kegiatan pertanian, kehutanan, atau perikanan. Hingga akhir tahun 2005, lebih dari 10 hektar tanah pada kawasan tambang di daerah dataran tinggi yang berhasil dihijaukan kembali dengan menanam 138 jenis spesies tumbuhan di atas tanah yang mengandung Sirsat, yang diantaranya adalah 70.000 pohon bakau, 900 pohon kelapa dari empat varietas *Cocos nucifera*, tanaman kacang-kacangan penutup tanah (*Colopogonium muconoides* dan *Centrosema pubescens*).

Adapun upaya pengelolaan lingkungan dengan reklamasi dapat disusun dalam sebuah skema seperti tampak pada Gambar 2.5 berikut ini.



Gambar 2.5. Skema Reklamasi (Sumber: Saxena, 2002)

Pada tahun yang sama, sebuah program peternakan telah dikembangkan pada daerah dataran rendah untuk membuktikan bahwa ternak dapat dipelihara dan memakan rumput *Arachis pintoii*, *Brachiaria humidicola*, *Paspalum notatum* dan *Stylosanthes sirens* yang ditanam di atas lahan endapan Sirsat. Seluruh kegiatan ini diselenggarakan melalui kerjasama antara perusahaan pertambangan dengan Pemerintah Daerah Kabupaten Mimika dengan memantau kesehatan ternak secara berkala.

Perlu diketahui bahwa kajian-kajian ekologi yang telah dilakukan hingga saat ini mencakup etnobotani, keanekaragaman hayati pada ekosistem sub-alpin dan alpin, pemanfaatan jenis-jenis asli tanaman lumut dan bakteri untuk strategi reklamasi perintis dan budi daya jaringan untuk pengembang biakan jenis tanaman alpin asli.

Adapun kandungan Sirsat yang tampak pada Tabel 2.5 adalah berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh LAPI-ITB sehingga hasil tersebut dimanfaatkan untuk implementasi dari kerjasama antara perusahaan tambang dengan Pemerintah Provinsi Papua dalam penggunaan Sirsat sebagai bahan campuran beton dalam pembangunan prasarana di Provinsi Papua sejak tahun 2007.

Tabel 2.5. Kandungan Sirsat di Sungai Otomona

| No. | Mineral | Prosentase |
|-----|----------------------|------------|
| 1. | Kuarsa | 33% |
| 2. | Kalsit Karbonat | 19% |
| 3. | Feldspar | 13% |
| 4. | Anhidrit Sulfat | 7% |
| 5. | Mika | 7% |
| 6. | Ferioksida | 3% |
| 7. | Sulfida (Cu, Zn, Fe) | 5% |
| 8. | Mineral dan lempung | 13% |

Sumber: Rusdinar, 2011.

Keunggulan beton Sirsat yang terungkap dari penelitian tersebut adalah:

1. Tergolong sebagai *High Performance Concrete* karena kinerjanya yang kuat dan tahan terhadap pengaruh air tawar, air laut dan hujan asam;

2. Biaya pembuatan yang lebih murah dari pembuatan beton yang biasa karena tidak perlu mendatangkan kerakal dari daerah lain;
3. Konsentrasi lindi (*leaching*) sangat rendah;
4. Bahan bakar polimer berasal dari plastik bekas.

Adapun pemanfaatan beton Sirsat ini telah digunakan untuk membangun jembatan, jalan, saluran drainase, dan mencetak sejumlah produk seperti batako, paving block, penahan ombak, serta gorong-gorong. Perjanjian kesepakatan kerjasama (*Memorandum of Understanding*) ini telah diperpanjang oleh kedua belah pihak pada tahun 2011.

2.7. Penentuan Status Mutu Air dengan Metode Indeks Pencemaran

Adapun metode Indeks Pencemaran merupakan suatu metode yang diusulkan oleh Sumitomo dan Nemerow pada tahun 1970 di Universitas Texas, Amerika Serikat. Para peneliti tersebut mengusulkan suatu indeks yang berkaitan dengan senyawa pencemar yang bermakna untuk suatu peruntukan. Oleh karena itu, indeks ini dinyatakan sebagai Indeks Pencemaran (*Pollution Index*) yang dapat digunakan untuk menentukan tingkat pencemaran relatif terhadap parameter kualitas air yang diizinkan (Nemerow, 1974). Penjabaran konsep Metode Indeks Pencemaran ini berbeda dengan Indeks Kualitas Air (*Water Quality Index*) karena Indeks Pencemaran ditentukan untuk keperluan suatu peruntukan yang kemudian dapat dikembangkan untuk beberapa peruntukan lainnya bagi seluruh bagian badan air atau sebagian dari suatu sungai.

Pengelolaan kualitas air atas dasar Indeks Pencemaran ini dapat memberi masukan untuk pengambil keputusan supaya dapat menilai kualitas badan air untuk suatu peruntukan serta melakukan tindakan untuk memperbaiki kualitas jika terjadi penurunan kualitas akibat kehadiran senyawa pencemar. Perlu diketahui bahwa Indeks Pencemaran tersebut dapat mencakup berbagai kelompok parameter kualitas yang independen dan bermakna.

Berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air, definisinya IPj adalah indeks

pencemaran bagi peruntukan j yang merupakan fungsi dari C_i/L_{ij} , dimana C_i menyatakan konsentrasi parameter kualitas air i dan L_{ij} adalah konsentrasi parameter kualitas air i yang dicantumkan dalam baku peruntukan air j . Dalam hal ini peruntukan yang akan digunakan adalah klasifikasi mutu air berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.

Sehingga formulasi perhitungan Indeks Pencemaran dapat ditulis seperti pada Persamaan 2.1:

$$IP_j = \sum \left\{ \left(\frac{C_i}{L_{ij}} \right)_R, \left(\frac{C_i}{L_{ij}} \right)_M \right\} \quad (2.1)$$

Dimana:

IP_j = Indeks Pencemaran bagi peruntukan (j)

C_i = Konsentrasi parameter kualitas air hasil pengukuran

L_{ij} = Konsentrasi parameter kualitas air yang dicantumkan dalam baku mutu peruntukan air (j)

$(C_i/L_{ij})_M$ = Nilai C_i/L_{ij} maksimum

$(C_i/L_{ij})_R$ = Nilai C_i/L_{ij} rata-rata

Disetiap nilai C_i/L_{ij} menunjukkan pencemaran relatif yang diakibatkan oleh parameter kualitas air. Nilai $C_i/L_{ij} = 1,0$ adalah nilai yang kritis, karena nilai ini diharapkan untuk dipenuhi bagi suatu Baku Mutu Peruntukan Air. Jika $C_i/L_{ij} > 1,0$ untuk suatu parameter, maka konsentrasi parameter ini harus dikurangi atau disisihkan, kalau badan air digunakan untuk peruntukan (j). Sehingga apabila parameter ini adalah parameter yang bermakna bagi peruntukan, maka pengolahan mutlak harus dilakukan bagi air tersebut. Selanjutnya, evaluasi terhadap nilai Indeks Pencemaran ditampilkan pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6. Hubungan antara Indeks Pencemaran dengan Status Mutu Air

| Indeks Pencemaran | Status Mutu Air* |
|------------------------|-----------------------------------|
| $0 \leq IP_j \leq 1,0$ | Memenuhi baku mutu (Kondisi baik) |
| $1,0 < IP_j \leq 5,0$ | Tercemar ringan |
| $5,0 < IP_j \leq 10$ | Tercemar sedang |
| $IP_j > 10$ | Tercemar berat |

Keterangan: *Lampiran II Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003.

Harga IP_j ini dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut:

- 1) Memilih parameter-parameter yang bila harga parameter rendah maka kualitas air sungai akan membaik.
- 2) Memilih konsentrasi parameter baku mutu yang tidak memiliki rentang.
- 3) Melakukan perhitungan harga Ci/Lij untuk tiap parameter pada setiap lokasi pengambilan cuplikan.
- 4) Menentukan nilai rata-rata dan nilai maksimum dari keseluruhan Ci/Lij .

2.8. Fitoremediasi

Fitoremediasi merupakan proses bioremediasi untuk pembersihan, penghilangan, penghancuran atau pengurangan bahan pencemar yang berbahaya, seperti logam berat, pestisida, dan senyawa organik atau anorganik beracun dalam tanah atau air dengan menggunakan bantuan tanaman (*hyperaccumulator plants*). Tumbuhan hiperakumulator ini adalah tumbuhan yang memiliki kemampuan untuk mengkonsentrasikan logam di dalam biomasnya dalam kadar yang sangat tinggi (Mangkoedihardjo dan Samudro, 2010). Tanaman ini dapat digunakan secara langsung dalam bentuk alamnya lengkap terdiri dari bagian akar, batang, dan daun, maupun dalam bentuk kultur jaringan tanaman. Fitoremediasi dapat dilakukan baik secara langsung di lokasi terjadinya pencemaran (*in situ*) maupun dengan menggunakan kolam buatan yang merupakan bioreaktor besar untuk penanganan limbah (*ex situ*).

Adapun proses fitoremediasi terdiri dari 6 macam proses, yaitu:

1) Fitostabilisasi (*Phytostabilization*)

Proses yang berlangsung di dalam tanah ini terjadi penempelan zat-zat kontaminan tertentu pada akar yang tidak mungkin terserap ke dalam batang tumbuhan. Naiknya zat kontaminan dikarenakan terbawa oleh aliran air tanah melalui proses kapiler, naiknya air tanah saat musim penghujan, dan melalui proses transpirasi tumbuhan.

2) Rizofiltrasi (*Rhizofiltration*)

Sering juga disebut sebagai fitofiltrasi (*phytofiltration*) atau fitoimobilisasi (*phytoimmobilisation*), merupakan proses adsorpsi atau presipitasi zat kontaminan oleh akar agar dapat menempel pada akar tumbuhan. Proses ini dapat terjadi apabila ada perbedaan muatan ion zat kontaminan dengan ion akar (Moreno dkk., 2008).

3) Rizodegradasi (*Rhizodegradation*)

Adalah proses penguraian zat-zat kontaminan oleh aktivitas mikroba. Tanaman mengeluarkan senyawa organik dan enzim melalui akar (eksudat akar) sehingga daerah rizosfer menjadi lingkungan yang sangat baik untuk bertumbuhnya mikroba dalam tanah. Zat kontaminan yang mengalami proses mikrobiologis adalah zat kontaminan organik yang mudah terurai mikrobiologis dan dapat terukur sebagai BOD, dan zat kontaminan anorganik seperti logam berat. Banyak penelitian yang menunjukkan bahwa kehidupan mikroba patogen dalam media tumbuhan dapat hidup lebih pendek dibandingkan dalam tanah dan air tawar maupun air limbah, karena kualitas eksudat yang mampu mengeliminasi mikroba patogen namun tidak memberikan dampak bagi mikroba yang hidup dalam akar.

4) Fitoakumulasi (*Phytoaccumulation*)

Proses ini juga dikenal dengan nama fitoekstraksi (*phytoextraction*) berlangsung pada tumbuhan yang menarik zat kontaminan dari tanah atau

air sehingga berakumulasi di sekitar akar tumbuhan tersebut. Agar tanaman dapat melakukan proses fitoakumulasi, maka terdapat 5 hal yang harus berlangsung, yaitu (Mangkoedihardjo, 2007):

- a) Zat kontaminan yang akan diserap harus terlarut atau dilarutkan dalam tanah atau air sehingga proses penyerapan dapat berlangsung,
- b) Akar tanaman dapat menyerap zat kontaminan tersebut,
- c) Tanaman dapat mengumpulkan zat kontaminan dan secara kimiawi melekat ke suatu senyawa organik agar tanaman dapat melindungi diri dan membuat zat kontaminan lebih mudah diserap (*Metal-EDTA Chelate*),
- d) Tanaman menyerap zat kontaminan dan menyimpannya,
- e) Tanaman melakukan adaptasi terhadap kerusakan yang ditimbulkan dalam proses penyerapan zat kontaminan.

5) Fitodegradasi (*Phytodegradation*)

Adalah penguraian zat kontaminan yang terserap melalui proses metabolik dalam tanaman yang bahkan sebagian dapat diubah menjadi nutrisi tanaman tersebut. Proses ini juga merupakan penguraian zat kontaminan di luar tanaman melalui proses ensimatik yang dihasilkan tanaman. Istilah lain untuk proses ini adalah fitotransformasi (*phytotransformation*).

6) Fitovolatilisasi (*Phytovolatilization*)

Merupakan proses transpirasi zat kontaminan oleh tanaman dalam bentuk yang telah menjadi larutan yang terurai sebagai bahan yang tidak berbahaya ke udara. Pada pengolahan air limbah berkandungan logam berat atau fitoremediasi tanah tercemar, lepasan logam berat ke udara adalah sangat sedikit, namun perlu diwaspadai akumulasi logam berat yang ada di tumbuhan tersebut.

2.9. *Environmental Health Risk Assessment (EHRA)*

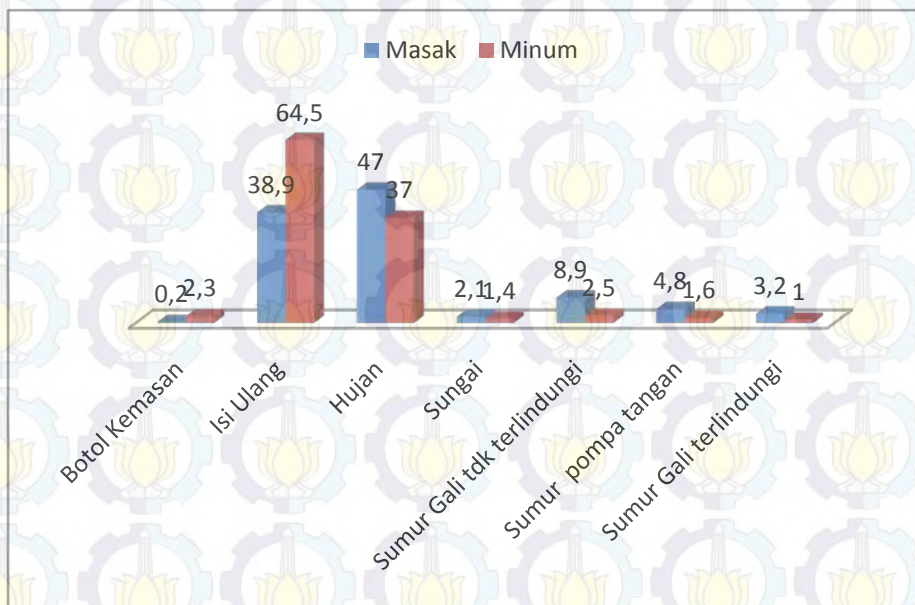
Studi EHRA merupakan sebuah survey partisipatif dan kuantitatif yang ketat di suatu kawasan dengan tujuan untuk memperoleh gambaran kondisi fasilitas sanitasi dan kesehatan serta perilaku masyarakat (Khoiron dan Wibowo, 2014). Hasil dari metode yang juga sering disebut sebagai Studi Penilaian Resiko Kesehatan Lingkungan dapat dimanfaatkan untuk pengembangan program sanitasi di kawasan tersebut sehingga perlu dilakukan karena pembangunan sanitasi membutuhkan pemahaman yang akurat terhadap kondisi wilayah akibat dari terbatasnya data terkait dengan sanitasi yang pada umumnya data yang tersedia tidak dapat diolah hingga ke tingkat kelurahan atau desa dan juga karena isu sanitasi dan kesehatan di tingkat kelurahan/desa masih dianggap kurang penting.

Selain itu, studi EHRA dapat menghasilkan data yang representatif di tingkat kabupaten/kota dan kecamatan serta dapat dijadikan pedoman dasar di tingkat kelurahan/desa karena menggabungkan informasi yang selama ini menjadi indikator sektor pemerintahan secara eksklusif. Metode ini secara tidak langsung memberikan masukan bagi para *stakeholder* untuk melakukan kegiatan advokasi ke tingkat yang lebih tinggi maupun secara horisontal ke sesama warga tersebut dengan memberikan ruang dialog antara warga dan pengambil keputusan.

Cara pengumpulan data pada metode ini dapat dilakukan dengan wawancara lisan dan/atau memberikan kuesioner kepada responden yang dapat membutuhkan waktu selama 30 hingga 40 menit, serta melakukan observasi atau pengamatan terhadap fasilitas sanitasi yang terdapat di suatu kawasan. Adapun unit responden yang banyak dipilih adalah ibu-ibu (perempuan yang telah menikah atau janda) dengan kisaran umur 21 sampai 60 tahun karena diasumsikan bahwa para ibu tersebut lebih mengetahui tentang kondisi rumah mereka, namun bapak kepala rumah tangga juga merupakan prioritas responden yang tidak boleh diabaikan apabila menemui situasi tertentu. Proses pemilihan responden tersebut dapat dilakukan secara acak (*random*) dan tetap sistematis, yaitu berdasarkan angka loncatan mulai dari angka acak tertentu bila daftar rumah tangga tersedia atau permukiman tertata rapih.

Berdasarkan hasil studi EHRA Kabupaten Mimika tahun 2012, akses air bersih untuk air minum masyarakat paling banyak menggunakan air isi ulang

sebanyak 64,5%, kemudian menggunakan air hujan sebanyak 37%, air sumur gali tidak terlindungi sebanyak 2,5%, air botol kemasan sebanyak 2,3%, air sumur pompa tangan sebanyak 1,6%, air sungai sebanyak 1,4%, dan air sumur gali terlindungi sebanyak 1%. Sedangkan akses air bersih untuk memasak, masyarakat paling banyak menggunakan air hujan sebanyak 47%, air isi ulang sebanyak 38,9%, air sumur gali tidak terlindungi sebanyak 8,9%, air sumur pompa tangan sebanyak 4,8%, air sumur gali terlindungi sebanyak 3,2%, air sungai 2,1% dan air botol kemasan 0,2%. Pada Gambar 2.6 menampilkan grafik akses masyarakat Kabupaten Mimika terhadap air bersih dan/atau sumber air minum.



Gambar 2.6. Grafik Akses terhadap Air Bersih/Sumber Air Minum dan Masak di Kabupaten Mimika (Sumber: Studi EHRA Kabupaten Mimika, 2012)

Studi EHRA menyatakan bahwa masyarakat di Kabupaten Mimika yang telah melakukan pengolahan air minum sebanyak 53%, sedangkan sisanya sebesar 47% belum melakukan pengolahan air minum. Penyimpanan air minum yang telah diolah oleh sebagian besar masyarakat Kabupaten Mimika menempatkannya di dalam panci dengan tutup dan dalam teko/ketel/ceret masing-masing sebesar 45%, kemudian dalam galon isi ulang 20%, sedangkan di dalam botol/termos sebesar 18% dan dalam panci tertutup 11%, serta dalam panci terbuka 6%.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1. Jenis Penelitian

Penelitian deskriptif merupakan suatu bentuk penelitian yang ditujukan untuk menjelaskan berbagai keadaan yang terjadi, baik secara alamiah maupun buatan manusia. Keadaan-keadaan tersebut dapat berupa bentuk, aktivitas, karakteristik, perubahan, hubungan, kesamaan, dan perbedaan antara keadaan yang satu dengan lainnya (Sukmadinata, 2006). Keadaan yang dimaksud di atas disajikan dan diuraikan secara jelas dan menyeluruh tanpa memberikan suatu manipulasi. Dengan kata lain, penelitian deskriptif juga adalah penelitian yang berusaha menjabarkan dan menginterpretasikan sesuatu, misalnya kondisi, pendapat, proses, akibat atau dampak, atau tentang kecenderungan yang sedang terjadi.

Penelitian deskriptif dengan pendekatan kuantitatif pada umumnya menekankan analisa proses berpikir secara deduktif dan induktif yang berkaitan dengan dinamika hubungan antar keadaan yang diamati, serta senantiasa menggunakan logika ilmiah. Analisa deskriptif dapat menggunakan analisa distribusi frekuensi, yaitu memberikan kesimpulan berdasarkan hasil rata-rata. Hasil penelitian deskriptif ini sering digunakan atau dilanjutkan dengan melakukan penelitian analitik. Tahapan penelitian tersebut dilakukan agar pembahasan di dalam melakukan penelitian lebih mudah dan sistematis serta terukur sehingga didapatkan hasil yang optimal dan tepat sasaran.

Jadi penelitian ini termasuk jenis penelitian deskriptif dengan pendekatan kuantitatif dikarenakan melakukan kajian permasalahan yang ada berdasarkan peraturan, norma, standar, manual yang berlaku terhadap tingkat pencemaran air di Sungai Otomona.

Pada Gambar 3.1 berikut ini dapat dilihat tahapan alur penelitian yang akan dilakukan.



Gambar 3.1. Skema/Tahapan Penelitian

3.2. Parameter Penelitian

Data adalah manifestasi dari suatu kebenaran dan mutu penelitian tergantung pada kualitas data. Oleh karena itu penelitian ini akan menggunakan data yang bermutu, yaitu data yang obyektif, terpercaya (*reliable*), dan sah (*valid*). Data yang diperlukan terdiri dari data primer dan data sekunder.

3.2.1. Data Primer

Data primer pada penelitian ini meliputi data kualitas air Sungai Otomona baik parameter fisik, kimia maupun mikrobiologi. Parameter fisik meliputi temperatur (suhu), sedangkan parameter kimia yaitu pH, COD, oksigen terlarut (DO), dan merkuri (Hg). Untuk parameter mikrobiologi yang akan diteliti pada 3 sumur warga adalah total bakteri coliform.

3.2.2. Data Sekunder

Data sekunder penelitian ini adalah data yang diperoleh dari instansi pemerintah yang terkait dan studi pustaka yaitu antara lain dapat berupa jumlah dan kepadatan penduduk Distrik Tembagapura, permeabilitas tanah, kedalaman muka air tanah, kemiringan tanah, dan dokumen UKL/UPL atau Amdal untuk kawasan pertambangan.

3.3. Metode Analisa

3.3.1. Aspek Teknis

Hasil analisa laboratorium akan dibandingkan dengan baku mutu kualitas air sungai yang diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001. Penentuan status mutu air dengan menggunakan Metode Indeks Pencemaran (*Pollution Index*) sesuai Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 115 Tahun 2003. Analisa kuantitatif dan deskriptif tersebut termasuk merupakan kajian pengolahan data penelitian ini dari aspek teknis.

3.3.2. Aspek Lingkungan

Aspek lingkungan berisikan analisa deskriptif yang akan membahas tindakan pencegahan dan penanggulangan pencemaran badan air Sungai Otomona dari Sirsat yang dihasilkan dari kegiatan pertambangan. Analisa tersebut dilakukan dengan menggunakan data-data sekunder hasil studi EHRA (*Environmental Health Risk Assessment*) yang akan menjelaskan tingkat kejadian penyakit yang kemungkinan adalah dampak langsung dan tidak langsung dari adanya pengelolaan Sirsat di sekitar lokasi permukiman penduduk di Distrik Tembagapura, memberikan kajian dari data UKL/UPL atau dokumen AMDAL dan membandingkannya dengan literatur studi pustaka sehingga dapat disimpulkan dampak pengelolaan Sirsat terhadap lingkungan disekitarnya.

3.3.3. Aspek Kelembagaan

Upaya yang dilakukan dalam membahas aspek kelembagaan adalah dengan melakukan wawancara kepada masyarakat di sekitar lokasi Sungai Otomona dan penduduk yang air sumurnya diambil sebagai sampel untuk dilakukan analisa laboratorium. Selain itu, melakukan penelusuran terhadap data-data sekunder tentang tindakan dan upaya yang telah dilakukan pemerintah dan perusahaan tambang dalam melakukan pengelolaan terhadap lingkungan di sekitar Sungai Otomona.

3.4. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan dalam kurun waktu kurang lebih 4 (empat) bulan, yaitu mulai dari bulan pertengahan Maret 2014 hingga Juli 2014. *Purposive sampling* adalah metode pengambilan data pada penelitian ini yang memiliki pengertian bahwa jumlah dan titik pengambilan sampel dipilih dan ditentukan berdasarkan maksud dan tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini. Titik sampling penelitian ini sebanyak 6 (enam) titik lokasi pengambilan sampel air Sungai Otomona dengan pengulangan pengambilan sampel sebanyak 2 kali agar

tidak bias. Lalu sampel-sampel tersebut dianalisa di Balai Laboratorium Kesehatan Jayapura.

Adapun maksud penentuan sampel di 6 titik lokasi yang terdiri dari 3 titik di sepanjang Sungai Otomona dan 3 titik lainnya di sumur warga Kota Timika dengan pembagian wilayah berdasarkan jarak dari garis sempadan Sungai Otomona. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui tingkat pencemaran mulai dari kawasan hulu, tengah, dan hilir Sungai Otomona serta di kawasan permukiman di Kota Timika. Gambar 3.2 menunjukkan lokasi pengambilan sampel air di Sungai Otomona dan sumur penduduk di Kota Timika.



Gambar 3.2. Lokasi Pengambilan Sampel Air di Sungai Otomona dan Sumur Penduduk di Kota Timika. (Sumber: Google Earth)



“HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN”

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Aspek Teknis

Data hasil analisa laboratorium kualitas air Sungai Otomona dan air sumur penduduk yang dilakukan di 6 (enam) titik pengambilan dengan menggunakan 6 (enam) parameter, yaitu temperatur (suhu), pH, DO, COD, Hg, dan total *coliform*. Baku mutu yang digunakan adalah Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.

Pada pengambilan sampel pertama (sampling ke-1), kualitas air Sungai Otomona dan sumur penduduk bila dibandingkan dengan baku mutu air Kelas I, parameter yang melebihi baku mutu adalah pH, DO, COD, Hg, dan total *coliform*. Pada 6 titik pengambilan sampel terdapat 3 titik yang parameter pH tidak berada di rentang nilai yang disarankan, yaitu 6 – 9, dimana nilai pH di titik L1 adalah 3,46; L2 (4,47); dan L3 (5,58). Untuk parameter DO, seluruh titik pengambilan sampel tidak mencapai angka 6 mg/lt, yaitu di titik L1 (3,60 mg/lt); L2 (3,53 mg/lt); L3 (3,39 mg/lt); L4 (5,84 mg/lt); L5 (5,83 mg/lt); dan L6 (5,87 mg/lt). Untuk parameter COD, seluruh titik sampling, baik pada air sungai maupun air sumur telah melampaui batas maksimum 10,00 mg/lt. Di titik L1, nilai COD mencapai nilai sebesar 161,35 mg/lt; L2 (161,38 mg/lt); L3 (162,02 mg/lt); L4 (41,35 mg/lt); L5 (41,28 mg/lt); L6 (42,06 mg/lt). Pada parameter Hg hanya di titik L6 yang belum melampaui 0,001 mg/lt. Pada titik L1, nilai Hg sebesar 0,079 mg/lt; L2 (0,083 mg/lt); L3 (0,086 mg/lt); L4 (0,003 mg/lt); dan L5 (0,002 mg/lt). Untuk total *coliform*, titik pengambilan sampel di sumur penduduk, yaitu L4 (1.525 sel/100 ml); L5 (1.505 sel/100 ml); dan L6 (1.514 sel/100 ml) yang telah melampaui baku mutu 1.000 sel/100 ml.

Pada perbandingan dengan baku mutu air Kelas II, parameter yang melebihi baku mutu adalah pH, DO, COD, dan Hg. Nilai pH yang sudah melebihi baku mutu terletak pada titik L1, L2, dan L3. Untuk DO, terdapat 3 titik yang belum mencapai nilai 4 mg/lt, yaitu titik sampling L1, L2, dan L3 di Sungai

Otomona. Sedangkan untuk parameter COD, masih seluruh titik sampling yang berada diatas baku mutu yang ditetapkan sebesar 25 mg/l. Untuk parameter Hg, 4 titik sampling (L1, L2, L3, dan L4) yang tidak berada dibawah nilai 0,002 mg/l.

Sedangkan apabila dibandingkan dengan Kelas III dan Kelas IV, parameter pH; COD; dan Hg di titik-titik sampling telah melampaui baku mutu yang ditetapkan. Pada titik-titik L1, L2, dan L3 berada diluar rentang nilai pH yang ditetapkan. Untuk parameter COD, nilai baku mutu 50 mg/l (Kelas III) dan 100 mg/l (Kelas IV) tidak dapat dipenuhi oleh titik pengambilan sampling L1, L2, dan L3 di Sungai Otomona. Baku mutu kualitas air Kelas III untuk parameter Hg (0,002 mg/l) tidak dapat dipenuhi di 4 titik, yaitu titik L1, L2, L3, dan L4; sedangkan untuk Kelas IV, titik L1, L2, dan L3 masih berada diatas baku mutu 0,005 mg/l.

Sehingga bila melihat perbandingan yang telah dilakukan antara hasil sampling ke-1 dengan 4 kelas air, dapat diketahui bahwa kualitas Sungai Otomona bahkan sudah tidak memenuhi syarat Kelas IV, yaitu kelas mutu air terendah yang ditetapkan oleh pemerintah. Kondisi ini berkaitan erat dengan pengelolaan Sirsat di Sungai Otomona yang dilakukan oleh perusahaan tambang yang tidak optimal sehingga menyebabkan parameter pH, COD, dan Hg masih tetap melampaui baku mutu yang disyaratkan.

Untuk kualitas air sumur penduduk yang diambil sampelnya, dari hasil laboratorium untuk masing-masing parameter yang diteliti, maka dapat digolongkan kedalam Kelas III atau Kelas IV karena masih terdapat parameter COD yang melebihi standar 25 mg/l (Kelas II) dan parameter Hg di titik L4 yang masih berada diatas nilai ambang batas 0,002 mg/l, yaitu untuk Kelas II dan Kelas III.

Hasil analisa selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.1, Gambar 4.1, Gambar 4.2, Gambar 4.3, Gambar 4.4, dan Gambar 4.5.

Tabel 4.1. Hasil Analisa Kualitas Air Sungai Otomona dan Sumur Penduduk (Sampling ke-1)

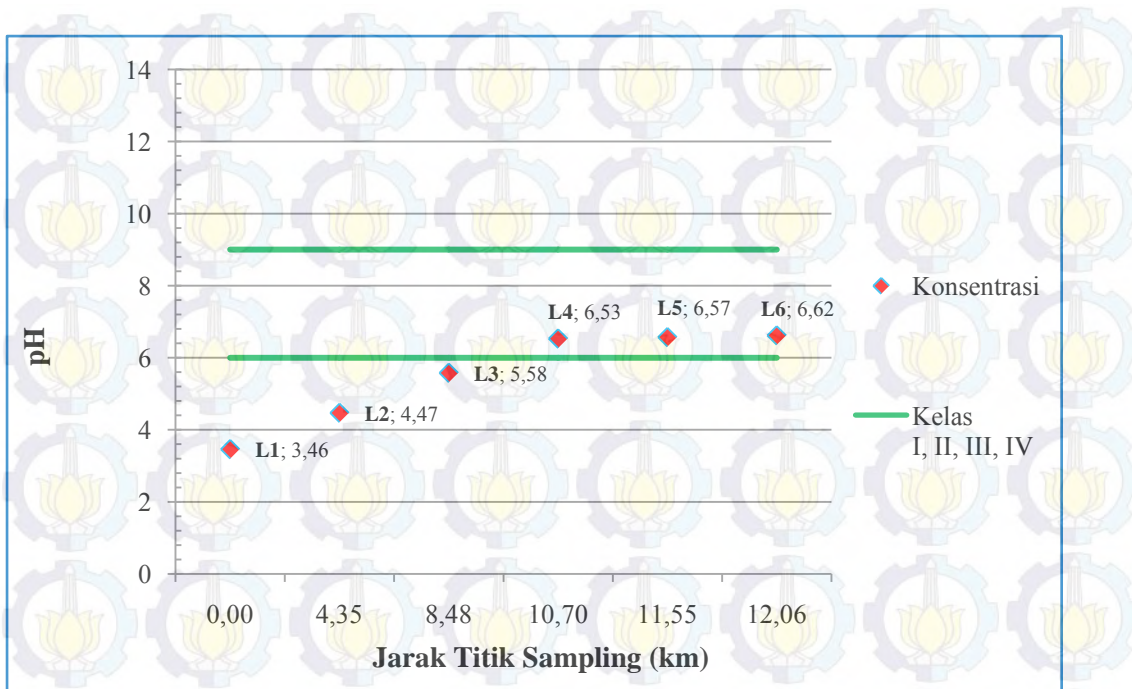
| Parameter | Satuan | Titik Pengambilan Sampel | | | | | | Baku Mutu*, Kelas | | | |
|----------------|----------------|--------------------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------------------|---------|---------|---------|
| | | L1 | L2 | L3 | L4 | L5 | L6 | I | II | III | IV |
| Suhu | °C | 21,5 | 22,0 | 22,0 | 24,8 | 24,7 | 24,7 | 20 – 30 | 20 – 30 | 20 – 30 | 15 – 35 |
| pH | - | 3,46 | 4,47 | 5,58 | 6,53 | 6,57 | 6,62 | 6 – 9 | 6 – 9 | 6 – 9 | 6 – 9 |
| DO | mg/lt | 3,60 | 3,53 | 3,39 | 5,84 | 5,83 | 5,87 | 6 | 4 | 3 | 0 |
| COD | mg/lt | 161,35 | 161,38 | 162,02 | 41,35 | 41,28 | 42,06 | 10 | 25 | 50 | 100 |
| Hg | mg/lt | 0,079 | 0,083 | 0,086 | 0,003 | 0,002 | 0,000 | 0,001 | 0,002 | 0,002 | 0,005 |
| Total Coliform | Jml sel/100 ml | 40 | 42 | 43 | 1525 | 1505 | 1514 | 1000 | 5000 | 10000 | 10000 |

Keterangan: - Data primer (2014).

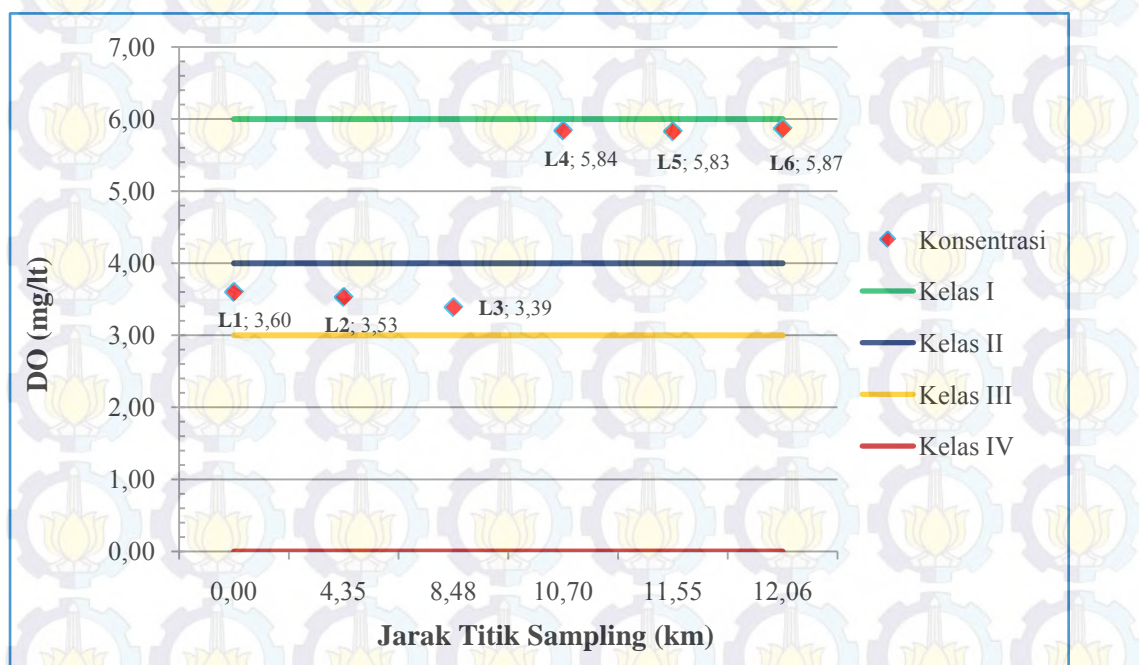
- L1, L2, L3 adalah sampel air sungai.

- L4, L5, L6 adalah sampel air sumur.

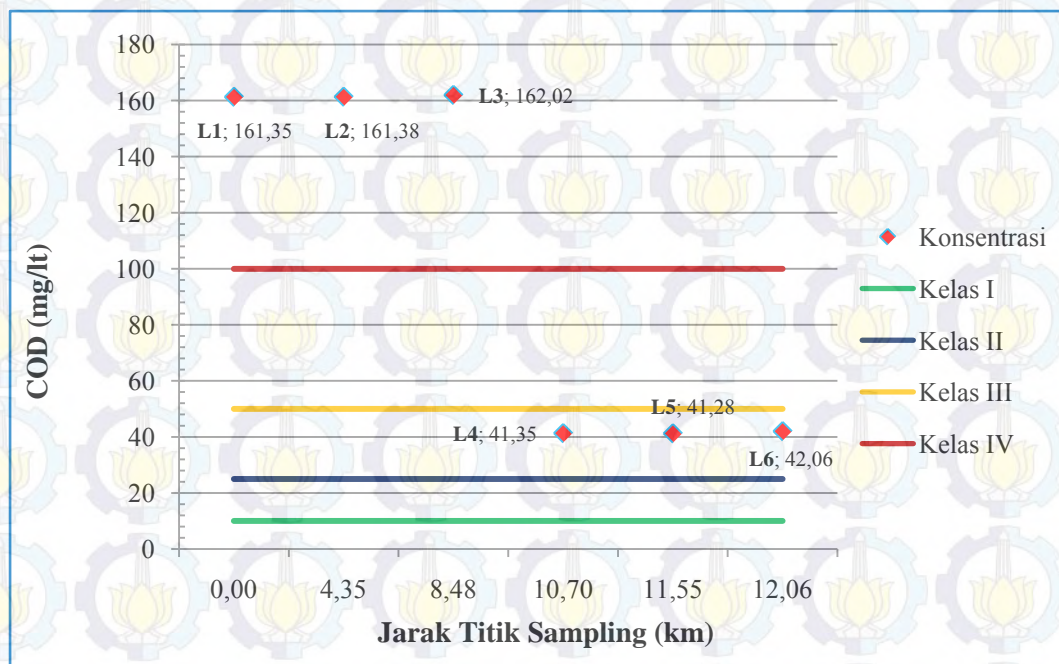
* Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001



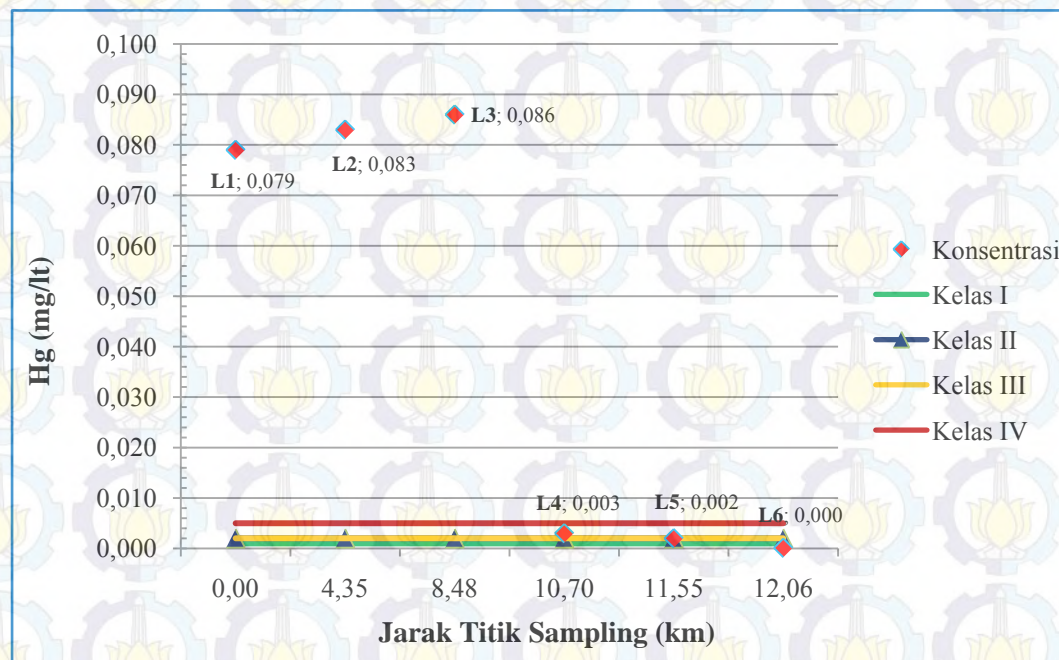
Gambar 4.1. pH di Sungai Otomona dan Sumur Penduduk (Sampling ke-1)



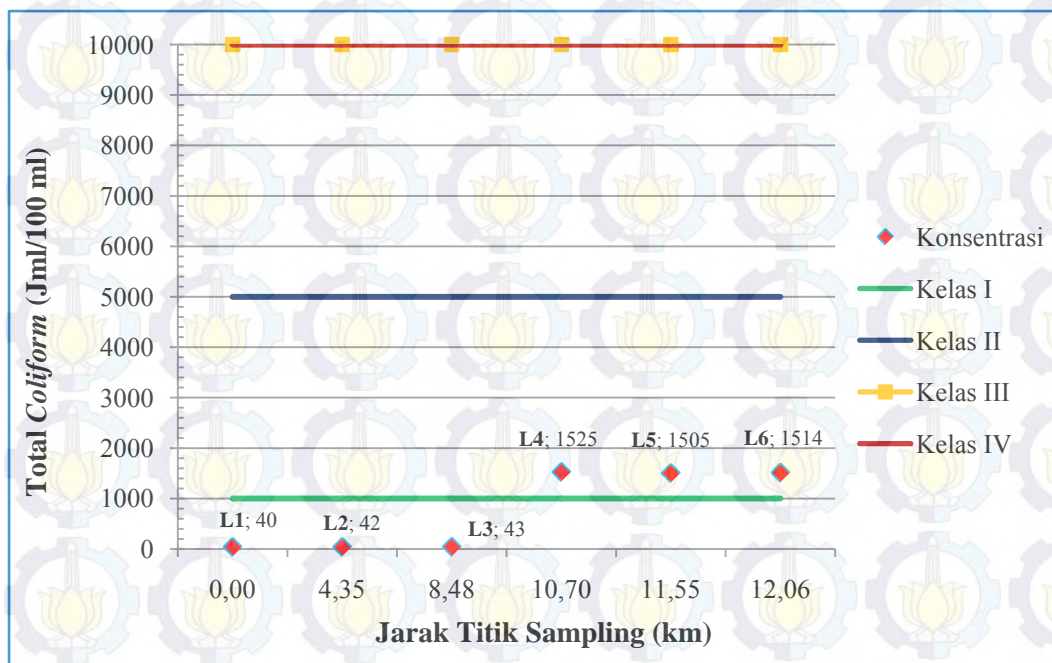
Gambar 4.2. Oksigen Terlarut (DO) di Sungai Otomona dan Sumur Penduduk (Sampling ke-1)



Gambar 4.3. COD di Sungai Otomona dan Sumur Penduduk (Sampling ke-1)



Gambar 4.4. Hg di Sungai Otomona dan Sumur Penduduk (Sampling ke-1)



Gambar 4.5. Total *Coliform* di Sungai Otomona dan Sumur Penduduk (Sampling ke-1)

Pada pengambilan sampling ke-2, kualitas air Sungai Otomona dan sumur penduduk bila dibandingkan dengan baku mutu air Kelas I, parameter-parameter yang melebihi baku mutu sama dengan hasil sampling ke-1, yaitu pH, DO, COD, Hg, dan total *coliform*. Parameter pH di titik-titik L1, L2, dan L3 tidak berada di rentang pH 6 – 9. Begitu juga dengan DO di semua titik sampling tidak dapat mencapai baku mutu Kelas I, yaitu 6,00 mg/l. Parameter COD di seluruh titik sampling sangat jauh melampaui batas baku mutu sebagaimana disyaratkan untuk kriteria mutu air Kelas I (10 mg/l). Untuk parameter Hg, hanya titik sampling L6 yaitu sumur penduduk yang paling jauh dari Sungai Otomona yang masih memenuhi syarat mutu kualitas air Kelas I. Namun untuk total *coliform*, titik-titik L4, L5, dan L6 masih melampaui angka batas baku mutu 1.000 sel/100 ml.

Pada perbandingan dengan baku mutu air Kelas II, parameter-parameter yang melebihi baku mutu adalah pH, DO, COD, dan Hg. Nilai pH yang sudah melebihi baku mutu tersebut terletak pada titik-titik L1, L2, dan L3. Untuk parameter DO, terdapat 3 titik yang belum mencapai nilai 4 mg/l, yaitu titik-titik

sampling L1, L2, dan L3 di Sungai Otomona. Sedangkan untuk parameter COD, seluruh titik sampling masih berada diatas baku mutu yang ditetapkan, yaitu sebesar 25 mg/l. Untuk parameter Hg, terdapat 4 titik sampling (L1, L2, L3, dan L4) yang tidak berada dibawah nilai 0,002 mg/l.

Sedangkan apabila hasil analisa laboratorium sampling ke-2 dibandingkan dengan kualitas air di Kelas III dan Kelas IV, parameter pH, COD, dan Hg di titik-titik sampling yang diteliti telah melampaui baku mutu yang ditetapkan. Pada titik-titik L1, L2, dan L3 berada diluar rentang nilai pH yang disyaratkan. Untuk parameter COD, nilai baku mutu 50 mg/l (Kelas III) dan 100 mg/l (Kelas IV) tidak dapat dipenuhi oleh titik-titik pengambilan sampling L1, L2, dan L3 di Sungai Otomona. Baku mutu kualitas air Kelas III untuk parameter Hg (0,002 mg/l) tidak dapat dipenuhi di 4 titik, yaitu titik-titik L1, L2, L3, dan L4; sedangkan untuk Kelas IV, titik-titik L1, L2, dan L3 masih berada diatas baku mutu 0,005 mg/l.

Maka dapat diambil kesimpulan bahwa perbandingan antara hasil sampling ke-2 dengan standar keempat kelas air yang ditetapkan oleh pemerintah tidak mengalami perbedaan dengan yang dilakukan pada sampling ke-1. Kualitas air Sungai Otomona tidak lagi memenuhi syarat Kelas IV yang disebabkan oleh parameter-parameter pH, COD, dan Hg tidak dapat memenuhi baku mutu Kelas IV. Sedangkan kualitas air pada sumur penduduk yang diteliti sudah berada di kisaran Kelas III dan Kelas IV dengan parameter-parameter penyebabnya adalah COD dan Hg yang masing-masing sudah tidak dapat memenuhi standar dari Kelas II dan Kelas III.

Pada Tabel 4.2, Gambar 4.6, Gambar 4.7, Gambar 4.8, Gambar 4.9, dan Gambar 4.10 berikut ini menampilkan hasil lengkap dari analisa laboratorium kualitas Sungai Otomona dan sumur penduduk di Kota Timika pada sampling ke-2.

Tabel 4.2. Hasil Analisa Kualitas Air Sungai Otomona dan Sumur Penduduk (Sampling ke-2)

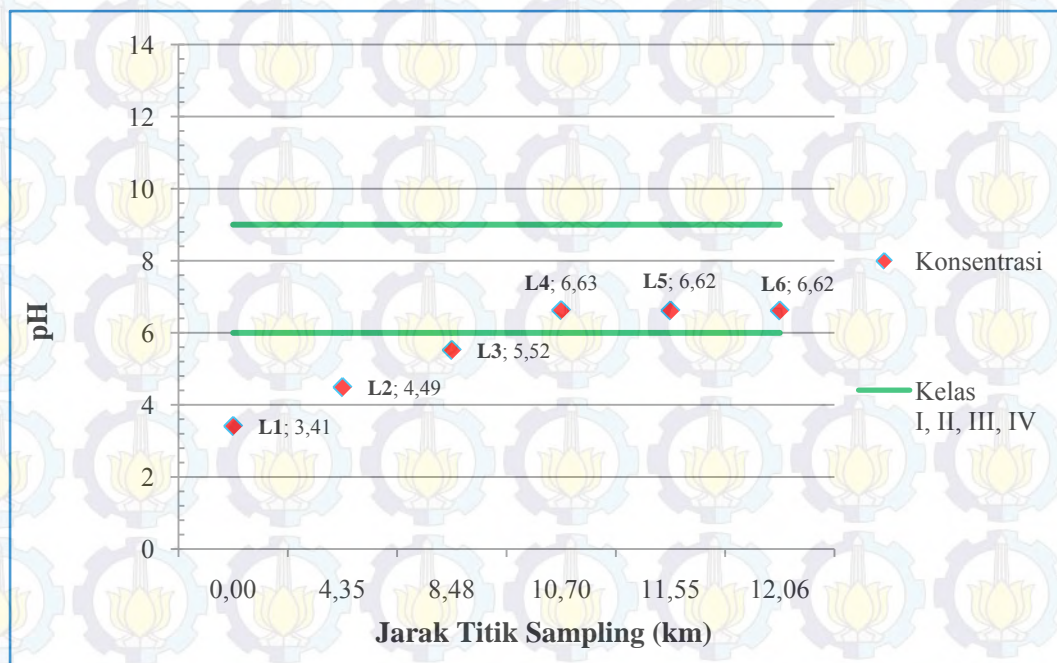
| Parameter | Satuan | Titik Pengambilan Sampel | | | | | | Baku Mutu*, Kelas | | | |
|----------------|----------------|--------------------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------------------|---------|---------|---------|
| | | L1 | L2 | L3 | L4 | L5 | L6 | I | II | III | IV |
| Suhu | °C | 21,5 | 21,6 | 21,5 | 24,5 | 24,6 | 24,2 | 20 – 30 | 20 – 30 | 20 – 30 | 15 – 35 |
| pH | - | 3,41 | 4,49 | 5,52 | 6,63 | 6,62 | 6,62 | 6 – 9 | 6 – 9 | 6 – 9 | 6 – 9 |
| DO | mg/lt | 3,58 | 3,52 | 3,47 | 5,83 | 5,84 | 5,80 | 6 | 4 | 3 | 0 |
| COD | mg/lt | 162,12 | 162,25 | 162,16 | 40,10 | 41,45 | 42,28 | 10 | 25 | 50 | 100 |
| Hg | mg/lt | 0,080 | 0,084 | 0,089 | 0,003 | 0,002 | 0,000 | 0,001 | 0,002 | 0,002 | 0,005 |
| Total Coliform | Jml sel/100 ml | 40 | 42 | 42 | 1504 | 1517 | 1515 | 1000 | 5000 | 10000 | 10000 |

Keterangan: - Data primer (2014).

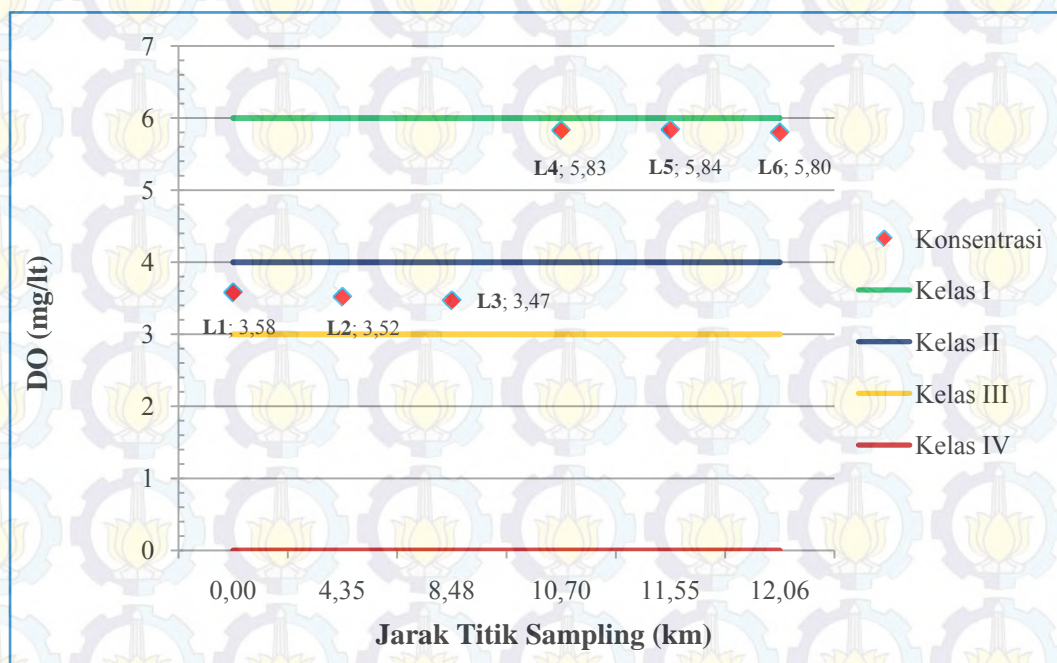
- L1, L2, L3 adalah sampel air sungai.

- L4, L5, L6 adalah sampel air sumur.

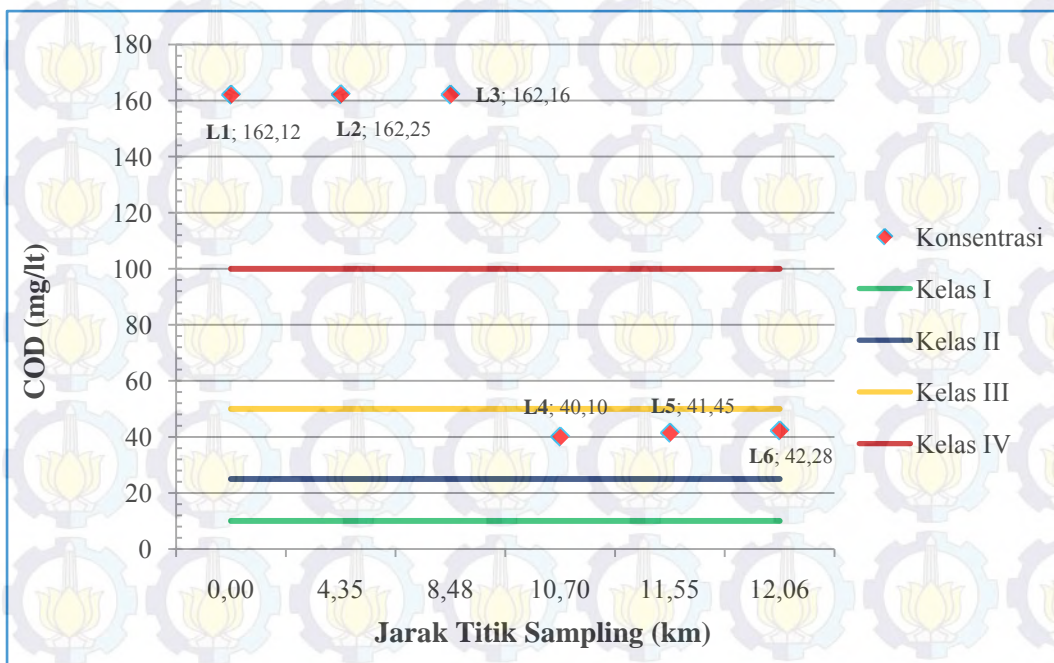
* Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001



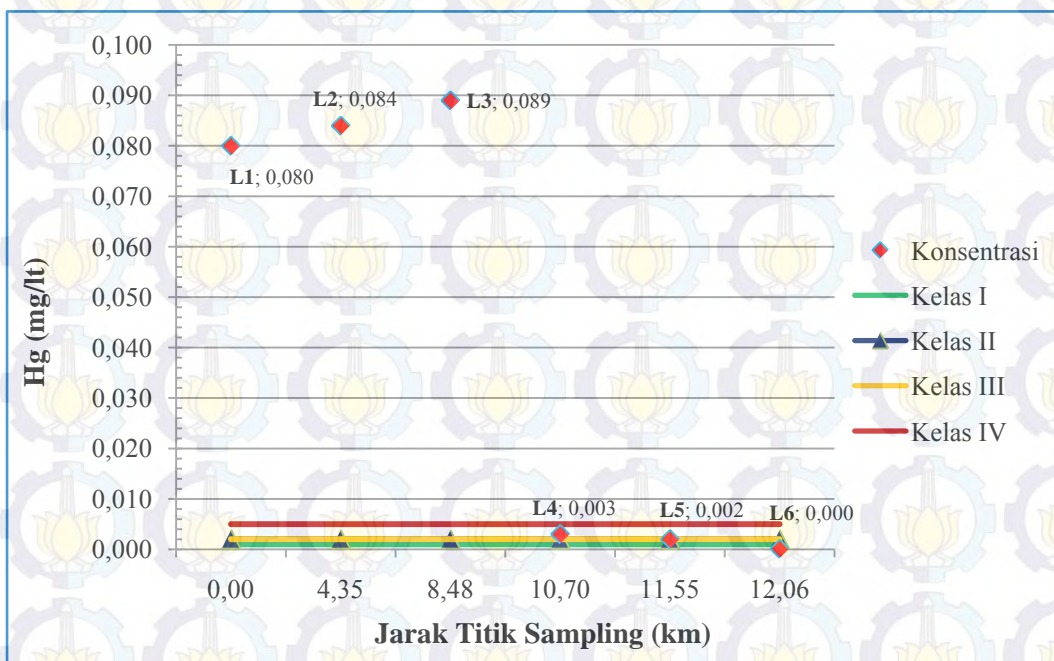
Gambar 4.6. pH di Sungai Otomona dan Sumur Penduduk (Sampling ke-2)



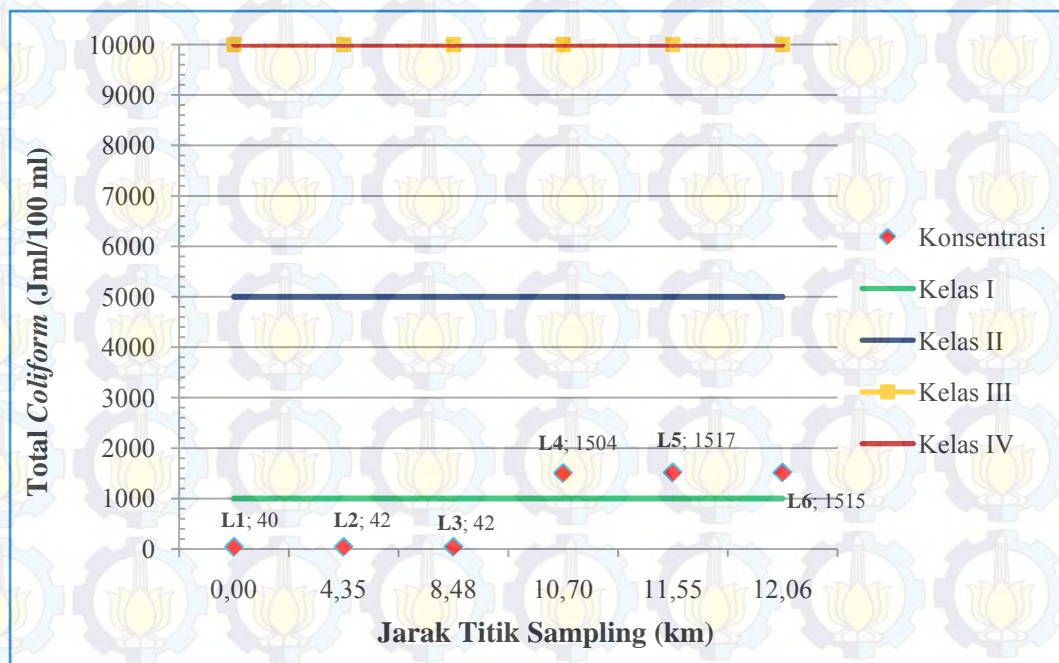
Gambar 4.7. Oksigen Terlarut (DO) di Sungai Otomona dan Sumur Penduduk (Sampling ke-2)



Gambar 4.8. COD di Sungai Otomona dan Sumur Penduduk (Sampling ke-2)



Gambar 4.9. Hg di Sungai Otomona dan Sumur Penduduk (Sampling ke-2)



Gambar 4.10. Total *Coliform* di Sungai Otomona dan Sumur Penduduk (Sampling ke-2)

Pada titik-titik L1, L2, dan L3, nilai Hg sangat memperlihatkan karena sangat tinggi kandungannya dan dapat dikatakan bahwa kualitas air sungai paling buruk bila dilihat dari beberapa parameter yang telah dianalisa terdapat pada titik L3, dimana lokasi ini adalah kawasan pengendapan Sirsat yang letaknya paling dekat dengan permukiman penduduk Kota Timika. Dan begitu juga dengan rendahnya nilai pH di seluruh titik pengambilan sampel di Sungai Otomona dapat meningkatkan dampak negatif dari berbagai zat kimia dan senyawa toksik di Sungai Otomona. Adapun zat-zat kimia beracun yang dimaksud diantaranya adalah sianida, arsen, merkuri, dan kadmium yang sangat berbahaya bagi habitat pesisir.

Perhitungan Indeks Pencemaran Sungai Otomona dan sumur penduduk berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 T ahun 2003 dengan tetap mengacu kepada kriteria mutu air menurut Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001. Dengan mempergunakan Persamaan 2.1 yang dipersyaratkan pada Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 T ahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air, maka diperoleh hasil

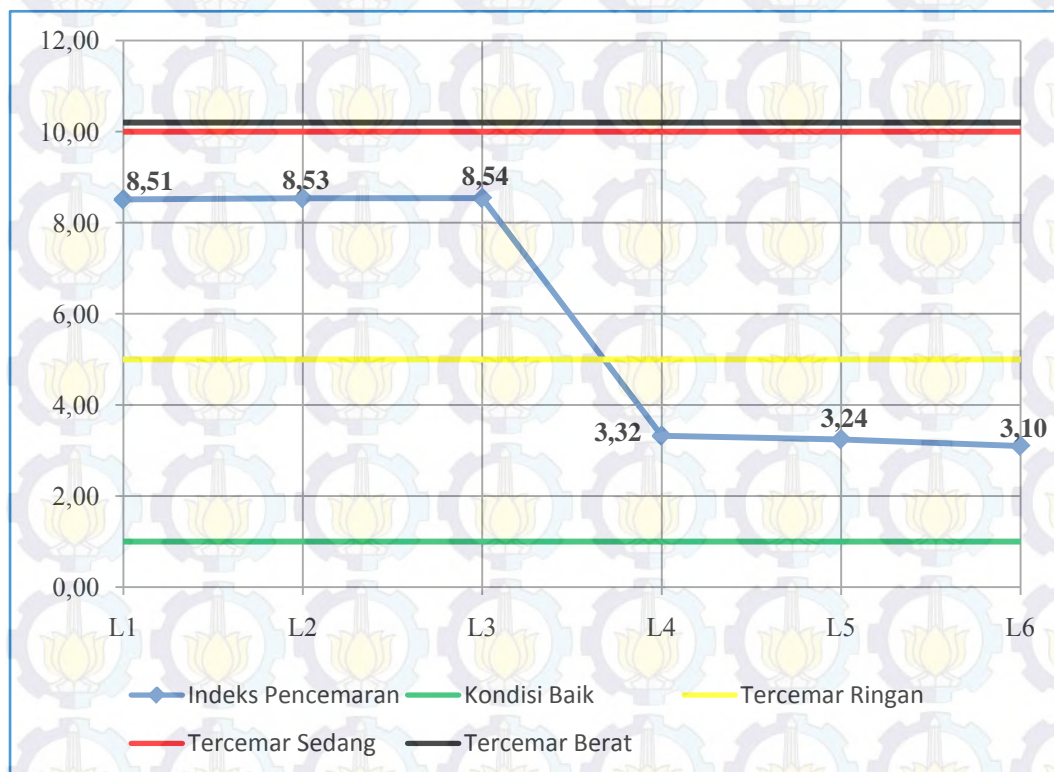
perhitungan Indeks Pencemaran di 6 titik pengambilan sampel tersebut menggunakan 4 dari 6 parameter yang dinilai telah melampaui baku mutu dan dapat dilihat pada Tabel 4.3, Tabel 4.4, Gambar 4.11, dan Gambar 4.12.

Tabel 4.3. Rekapitulasi Indeks Pencemaran Sungai Otomona dan Sumur Penduduk (Sampling ke-1)

| Titik Sampling | Nilai IP | Keterangan* |
|----------------|----------|-----------------|
| L1 | 7,09 | Tercemar sedang |
| L2 | 7,12 | Tercemar sedang |
| L3 | 7,12 | Tercemar sedang |
| L4 | 1,72 | Tercemar ringan |
| L5 | 1,65 | Tercemar ringan |
| L6 | 1,61 | Tercemar ringan |

Keterangan: - Hasil analisa.

*Lampiran II Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003.



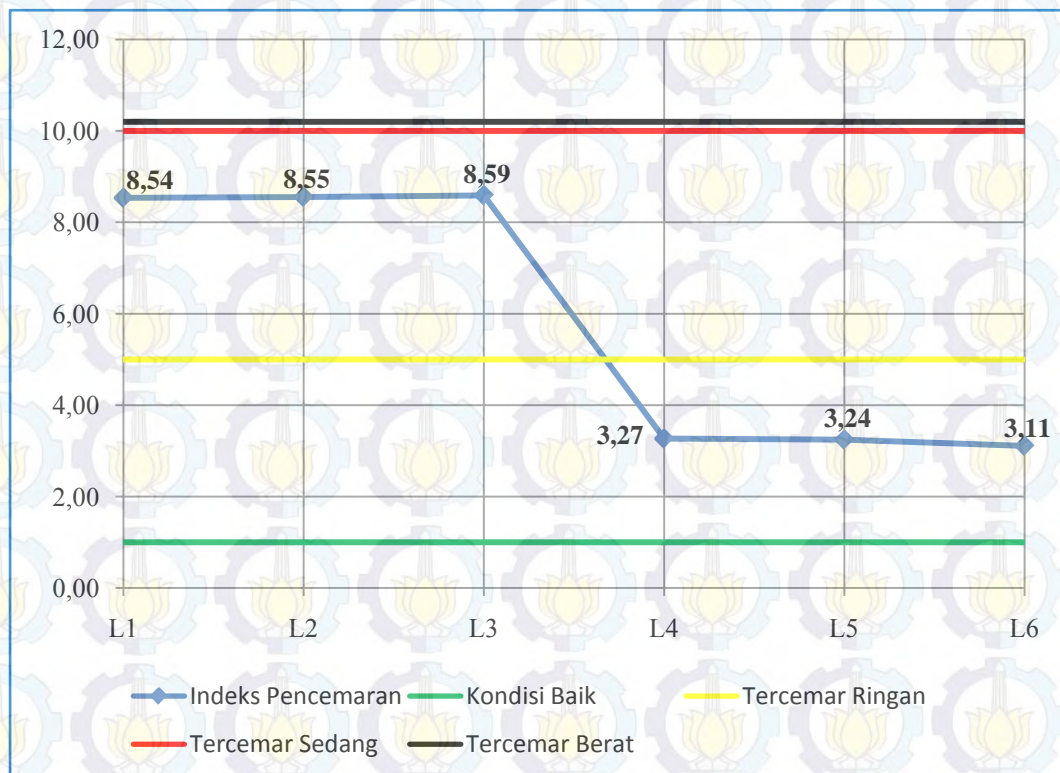
Gambar 4.11. Indeks Pencemaran Sungai Otomona dan Sumur Penduduk (Sampling ke-1)

Tabel 4.4. Rekapitulasi Indeks Pencemaran Sungai Otomona dan Sumur Penduduk (Sampling ke-2)

| Titik Sampling | Nilai IP | Keterangan* |
|----------------|----------|-----------------|
| L1 | 7,12 | Tercemar sedang |
| L2 | 7,14 | Tercemar sedang |
| L3 | 7,18 | Tercemar sedang |
| L4 | 1,67 | Tercemar ringan |
| L5 | 1,65 | Tercemar ringan |
| L6 | 1,61 | Tercemar ringan |

Keterangan: - Hasil analisa.

* Lampiran II Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003.



Gambar 4.12. Indeks Pencemaran Sungai Otomona dan Sumur Penduduk (Sampling ke-2)

Berdasarkan hasil perhitungan terhadap Indeks Pencemaran tersebut menunjukkan bahwa kualitas air Sungai Otomona cenderung mengalami penurunan kualitas mulai dari hulu hingga kawasan pengendapan Sirsat. Nilai Indeks Pencemaran di titik L3, yaitu 7,12 (sampling ke-1) dan 7,18 (sampling ke-2), lebih

tinggi daripada L1 dan L2 yang mengindikasikan bahwa tingginya tingkat pencemaran yang terus berakumulasi hingga di daerah pengendapan Sirsat walaupun di sepanjang Sungai Otomona telah berlangsung proses pemulihan sungai itu sendiri (*self purification*).

Proses pendangkalan yang terjadi di sepanjang sungai membuat morfologi sungai berubah sehingga mengakibatkan terganggunya kinerja dari Sungai Otomona dalam melakukan pemulihan dirinya. Beban pencemaran baik dari kandungan parameter pencemar maupun dari jumlah Sirsat yang dialirkan harus ditampung oleh Sungai Otomona sehingga sungai hanya mampu memperbaiki status mutu airnya ditingkatkan tercemar sedang karena nilai Indeks Pencemaran berkisar diantara 7,09 – 7,12 pada sampling ke-1 dan 7,12 – 7,18 di sampling ke-2 yang berdasarkan tabel pada Lampiran II Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 berada diantara $5,0 < IP_j \leq 10$.

Akumulasi padatan Sirsat yang semakin banyak di bagian yang lebih rendah dari Sungai Otomona membuat nilai DO tidak mengalami peningkatan walaupun jarak titik L1 hingga titik L2 sekitar 4,35 kilometer. Pada pengambilan sampel pertama, nilai DO di titik L1 sebesar 3,60 mg/l, sedangkan di titik L2 sebesar 3,53 mg/l. Hal yang hampir sama terlihat pada hasil analisa laboratorium sampel kedua, titik L1 memiliki kadar DO sebesar 3,58 mg/l dan pada titik L2 sebesar 3,52 mg/l. Dengan kondisi aliran sungai yang cepat dan turbulen tidak membuat proses difusi atau perpindahan oksigen dari udara ke air (*reaerasi*) berjalan baik.

Untuk kualitas air sumur penduduk di tiga titik sampling (L4, L5, dan L6) karena nilai Indeks Pencemaran berada di kisaran $1,0 < IP_j \leq 5,0$, yaitu 1,61 – 1,72 (sampling ke-1) dan 1,61 – 1,67 (sampling ke-2), maka dapat disimpulkan bahwa air sumur penduduk tergolong telah tercemar ringan. Nilai kandungan COD pada ketiga sumur penduduk tersebut tinggi yang menunjukkan bahwa zat organik yang tidak terurai secara biologi banyak jumlahnya. Pada sampling ke-1, kandungan COD dalam air sumur di titik L4 mencapai nilai 41,35 mg/l; L5 (41,28 mg/l); dan L6 (42,06 mg/l). Sedangkan pada sampling kedua, nilai COD di titik L4 adalah 40,10 mg/l; L5 (41,45 mg/l); dan L6 (42,28 mg/l). Di seluruh

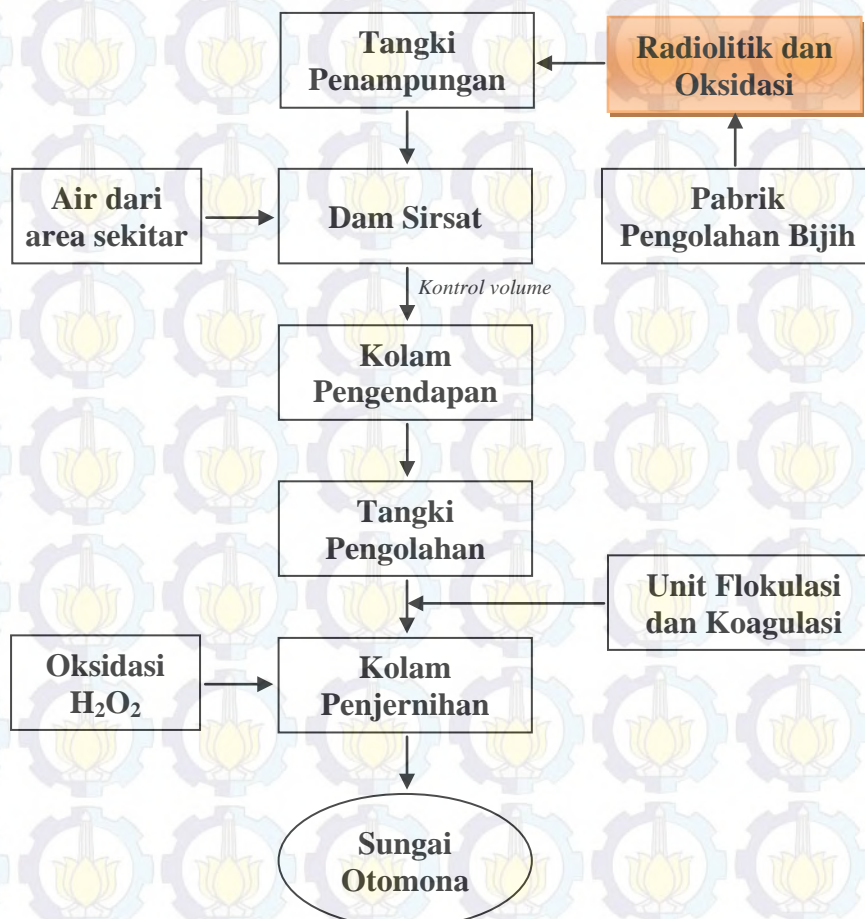
sumur penduduk tersebut dapat dikatakan memiliki kandungan COD yang telah melampaui baku mutu kualitas air Kelas II, yaitu 25 mg/l.

Pada titik L4 dan L5 yang letaknya dekat dengan kawasan pengendapan ModADA, terindikasi bahwa air sumur telah terkontaminasi oleh Hg. Sampling pertama dan kedua menunjukkan hasil yang sama, yaitu di titik L4 nilai Hg telah mencapai 0,003 mg/l dan di titik L5 sebesar 0,002 mg/l. Walaupun berdasarkan hasil rekapitulasi perhitungan Indeks Pencemaran di kedua titik tersebut masuk dalam kategori tercemar ringan, namun kandungan nilai Hg yang telah dan berada di ambang batas baku mutu yang ditetapkan oleh pemerintah wajib menjadi perhatian khusus untuk segera dilakukan penanganan agar dampak negatif dari pencemaran Hg tersebut terhadap penduduk tidak berlangsung terus menerus.

Untuk mengolah Sirsat yang besar jumlahnya dan mengandung merkuri, maka perusahaan pertambangan perlu membangun sebuah fasilitas pengolahan dengan proses sederhana tetapi memerlukan biaya mahal. Fasilitas pengolahan tersebut dapat terdiri dari sistem penampungan berupa dam, sistem oksidasi kimia dengan H_2O_2 , dan sistem penjernihan limbah dengan proses koagulasi dan flokulasi, sebelum dibuang ke kawasan pengendapan. Senyawa merkuri bersifat mudah terdegradasi secara alamiah (*degradable compound*), sehingga oleh karakteristik tersebut sistem utama pengolahan merkuri dilakukan dengan cara menampung dan diupayakan tinggal lama di kawasan pengendapan untuk mengalami proses degradasi secara alamiah dengan bantuan tumbuhan yang ditanam.

Untuk mengoptimalkan proses tersebut, maka kapasitas tampung dam dibuat sangat besar sehingga mampu menurunkan konsentrasi merkuri. Dam tersebut dapat dibuat sebelum Sirsat masuk ke lokasi pengendapan yang sudah merupakan kawasan dataran rendah. Setelah berproses destruksi alamiah di dam, cairan luapan (*over flow*) dijernihkan dengan proses koagulasi-flokulasi dan selanjutnya dioksidasi secara kimia dengan H_2O_2 . Selanjutnya hasil pengolahan limbah cair dan Sirsat tersebut dapat didispersikan ke lingkungan melalui aliran Sungai Otomona (Sutoto, 2007). Pada pengolahan ini, Sirsat dapat dimanfaatkan sebagai sumber radiolitik dengan sebelumnya diperlukan kajian penempatannya dengan memperhatikan faktor kecepatan destruksi dan debit alirannya. Besaran

parameter proses tersebut akan didapatkan dari tes pengujian di laboratorium dan dari pengukuran besaran proses yang beroperasi. Gambar 4.13 b erikut ini menampilkan sistem pengolahan limbah cair dan rencana penerapan sistem destruksi merkuri.



Gambar 4.13. Usulan Rencana Penerapan Sistem Pengelolaan Limbah Cair dan Sirsat Untuk Mereduksi Merkuri (Sumber: Sutoto, 2007)

Memang sulit untuk menduga seberapa besar akibat yang ditimbulkan oleh adanya logam berat dalam tubuh makhluk hidup, namun sebagian besar toksisitas yang disebabkan oleh beberapa jenis logam berat seperti Pb, Cd, dan Hg adalah karena kemampuannya untuk menutup sisi aktif dari enzim dalam sel. Hg mempunyai bentuk kimiawi yang berbeda-beda dalam menimbulkan keracunan pada makhluk hidup, sehingga menimbulkan gejala-gejala yang berbeda pula

(Grandjean dkk., 2010). Jenis toksisitas Hg dalam hal ini dibedakan menjadi dua bagian, yaitu toksisitas organik dan anorganik.

Dalam bentuk anorganik, Hg berikatan dengan satu atom karbon atau lebih, sedangkan dalam bentuk organik, dengan rantai alkil yang pendek. Senyawa tersebut sangat stabil dalam proses metabolisme dan mudah menginfiltrasi jaringan yang sukar ditembus, misalnya otak, plasenta, ginjal dan hati. Adapun senyawa tersebut dapat mengakibatkan kerusakan jaringan yang tidak dapat digantikan atau diperbaiki, baik pada orang dewasa maupun anak-anak (Darmono, 1995). Pada toksisitas Hg anorganik biasanya menyebabkan penderita mengalami tremor (gemeteran) pada anggota tubuh seperti tangan dan kaki yang jika terus berlanjut dapat menyebabkan pengurangan pada pendengaran, penglihatan, atau daya ingat.

Adapun toksisitas Hg organik yang paling populer dari methylmerkuri yang berpotensi menyebabkan gangguan pada sistem saraf pusat, plasenta yang dapat mengakibatkan cacat bawaan pada bayi yang dilahirkan, dan kerusakan DNA dan kromosom. Kejadian keracunan (*mercurialism*) methylmerkuri yang paling besar pada makhluk hidup terjadi di tahun 1956 di Teluk Minamata, Jepang yang terkenal dengan nama *Minamata Disease* (Fardiaz, 1992).

Proses kontaminasi merkuri dapat melalui inhalasi (dihirup), proses menelan atau penyerapan melalui kulit. Menghirup uap air raksa merupakan proses kontaminasi yang paling berbahaya. Jangka pendek terpapar uap air raksa dapat mengakibatkan tubuh lemah, panas dingin, mual, muntah, diare, dan gejala lain dalam beberapa waktu, sedangkan jangka panjang terkena uap Hg menyebabkan getaran tubuh, lekas marah, insomnia, kebingungan, produksi air liur berlebihan, iritasi paru-paru, iritasi mata, alergi, ruam kulit, dan sakit kepala.

Walaupun mekanisme keracunan merkuri di dalam tubuh belum diketahui dengan jelas, beberapa hal mengenai daya racun merkuri dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Kandungan merkuri dalam jumlah cukup, beracun terhadap tubuh.
- Masing-masing komponen merkuri mempunyai perbedaan karakteristik dalam daya racun, distribusi, akumulasi, atau pengumpulan, dan waktu retensinya di dalam tubuh.

- Transformasi biologi dapat terjadi di dalam lingkungan atau di dalam tubuh pada saat merkuri diubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya.
- Pengaruh buruk merkuri di dalam tubuh adalah melalui penghambatan kerja enzim dan kemampuannya untuk berikatan dengan grup yang mengandung sulfur di dalam molekul enzim dan dinding sel.
- Kerusakan tubuh yang disebabkan merkuri biasanya bersifat permanen, dan sampai saat ini belum dapat disembuhkan.

4.2. Analisa Aspek Lingkungan

Upaya pengelolaan Sungai Otomona perlu dilakukan secara menyeluruh, terpadu, dan berwawasan lingkungan untuk sebesar-besar kemakmuran rakyat. Untuk menjamin terselenggaranya pengelolaan sumber daya air yang sesuai dengan tujuan yang dimaksud, maka perlu menyusun pola pengelolaan Sungai Otomona. Adapun pemerintah wajib menyusun pola pengelolaan tersebut berdasarkan wilayah sungai dengan prinsip keterpaduan antara air permukaan dan air tanah karena perencanaan konservasi yang sistematis sangat peduli dengan aplikasi optimal dari aksi pengelolaan konservasi yang bersifat keruangan yang mendukung keberadaan keanekaragaman hayati itu sendiri atau kondisi alam secara *in situ* (Margules dan Pressey, 2000).

Rencana konservasi Sungai Otomona dapat menggunakan proses yang transparan dalam menentukan tujuan konservasi dan perencanaan aksi konservasi untuk mencapai tujuan yang ingin dicapai (Pressey dan Bottrill, 2009). Adapun suatu ciri yang mendasar dalam perencanaan konservasi adalah prinsip saling melengkapi (*complementarity*) yang mengidentifikasi sistem dari kawasan-kawasan konservasi yang saling melengkapi satu dengan yang lainnya untuk mencapai tujuan (Kirkpatrick dkk., 1983).

4.2.1. Pengelolaan Pasir Sisa Tambang (Sirsat)

Sistem manajemen pengelolaan Sirsat yang lebih konvensional ditolak karena medan yang ekstrim di daerah seismik aktif dengan curah hujan yang

tinggi dapat menciptakan risiko tinggi terhadap bencana/kegagalan, sehingga pengelolaan Sirsat di dataran rendah tersebut menjadi penyumbang terbesar pencemaran di Sungai Otomona. Aktivitas pelaksanaan sistem pengelolaan Sirsat tersebut sebaiknya senantiasa menjalani berbagai peningkatan, termasuk inspeksi, pemantauan dan program penahan Sirsat.

Penyelidikan dan implementasi terhadap berbagai teknik penahan khusus yang dirancang untuk menghalau aliran dan mendorong pengendapan dalam batas-batas daerah pengendapan tersebut perlu terus dilakukan, karena rencana penahan Sirsat tersebut akan dapat memecah daerah pengendapan menjadi beberapa bagian berdasarkan elevasi, besaran butir sedimen, dan jenis aliran, serta merinci teknik-teknik tertentu yang akan diterapkan pada setiap bagian.

Dampak yang terkait dengan pengelolaan Sirsat yaitu lahan vegetasi di kawasan ModADA tertutup dan dampak sedimentasi bagi organisme bentos (*bottom-dwelling*). Penyebabnya adalah butiran Sirsat dan sedimen non Sirsat yang tidak mengendap dalam daerah pengendapan, bersama dengan sedimen alami dari DAS Minajerwi, membentuk daratan baru dan daerah lahan basah di muara Ajkwa di bagian bawah ModADA. Dari hasil pengamatan terhadap lahan reklamasi Sirsat dan pembangunan lahan percontohan di atas kawasan pengelolaan Sirsat menunjukkan bahwa penghijauan atau penanaman kembali lahan Sirsat dapat dengan mudah dilakukan dengan menggunakan tanaman asli.

Adapun upaya pengalihan aliran Sungai Ajkwa yang sebelumnya bertemu dengan aliran Sungai Otomona dan ikut membawa endapan Sirsat menuju daerah pengendapan berjalan sesuai kesepakatan antara pemerintah dan perusahaan pertambangan dengan ditunjukkannya stabilisasi saluran yang cepat dan perkembangan pola berliku pada Sungai Ajkwa. Pengalihan Sungai Ajkwa menuju saluran di antara kedua tanggul mencegah terjadinya kontak dengan daerah pengendapan Sirsat sehingga dapat menambah aliran air tawar sepanjang perbatasan timur Timika yang sangat padat dengan penduduk sehingga dapat mengurangi jumlah Sirsat yang mengalir keluar melalui daerah pengendapan menuju muara dan Laut Arafura, sehingga memungkinkan diselenggarakannya proyek percontohan reklamasi di antara kedua tanggul tersebut.

4.2.2. Reklamasi dan Penghijauan Kembali

Rencana upaya reklamasi dan penghijauan kembali di kawasan pertambangan dapat disusun secara berkesinambungan berdasarkan rencana kerja 5 tahun yang diajukan kepada pemerintah dengan membuat skema pelaksanaan reklamasi seperti pada Gambar 2.6 dengan dapat melakukan modifikasi disesuaikan kondisi lingkungan dan karakteristik Sirsat di Sungai Otomona. Namun, ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam penetapan rencana reklamasi di kawasan Sungai Otomona meliputi:

- Stabilitas jangka panjang dari penampungan Sirsat, kestabilan lereng dan permukaan timbunan.
- Keamanan tambang terbuka dari longsor dan pengelolaan limbah B3 serta bahaya radiasinya.
- Karakteristik fisik kandungan nutrisi dan sifat beracun Sirsat yang dapat berpengaruh terhadap kegiatan revegetasi
- Potensi terjadinya air asam tambang dari bukaan tambang yang terlantar, pengelolaan Sirsat dan timbunan limbah batuan (sebagai akibat oksidasi sulfida yang terdapat dalam bijih atau limbah batuan)
- Biaya untuk rehabilitasi selama kegiatan dan pasca tambang.

Ekosistem pada daerah dataran tinggi dibentuk oleh kondisi lingkungan yang ekstrim, antara lain suhu malam hari yang sangat rendah, intensitas sinar matahari yang tinggi pada siang hari namun disertai masa fotosintesa yang pendek, kabut tebal, curah hujan tinggi, serta kondisi tanah yang buruk sehingga tumbuhan-tumbuhan yang tumbuh pada daerah tersebut sifatnya sangat khusus karena harus bertahan untuk hidup pada kondisi sulit tersebut. Oleh karena itu, kajian ekologi dari ekosistem pegunungan di kawasan tambang sebaiknya tetap dilakukan secara berkesinambungan dengan mengembangkan cara-cara handal untuk menghasilkan bibit jenis tanaman asli.

Pengelolaan dan pemantauan terhadap air asam tambang yang dihasilkan dengan menempatkan *overburden* pada daerah-daerah terkelola di sekitar tambang terbuka harus terus dilakukan dengan menampung dan mengolah air asam

tambang yang ada bersamaan dengan upaya proses pencampuran dengan batu gamping dan penutupan daerah penempatan *overburden* dengan batu gamping guna mencegah pembentukan air asam tambang di masa datang.

Daerah penimbunan *overburden* masih akan aktif hingga 10 tahun ke depan, maka tindakan reklamasi atas lahan-lahan *overburden* yang tersedia setiap tahunnya saat tidak lagi dimanfaatkan harus terus dilakukan dengan memantau seluruh kinerja berbagai teknik penanaman dan terus melakukan modifikasi program untuk meningkatkan hasil akhir dan menitik beratkan penelitian yang dilakukan pada peran iklim setempat dalam pembentukan lumut serta suksesi alami yang cepat pada daerah penempatan akhir *overburden*.

Pada daerah dataran rendah, penelitian terhadap upaya reklamasi perlu terus dilakukan dengan tujuan untuk membuktikan keberhasilan dari spesies tanaman asli dalam melakukan kolonisasi secara pesat dan alami di atas tanah yang mengandung Sirsat agar tujuan dari program reklamasi dan penghijauan kembali, yaitu untuk mengubah endapan Sirsat pada daerah pengendapan dapat dimanfaatkan sebagai lahan produktif lainnya setelah kegiatan tambang berakhir dan mendorong terjadinya suksesi ekologi secara alami dapat tercapai.

Tanah yang mengandung Sirsat tersebut dapat cocok untuk ditanami dengan sejumlah tanaman apabila sebelumnya memperbaiki kondisi tanah dengan menambahkan karbon organik. Pohon dan tanaman yang ditanam pada lahan reklamasi dapat berguna dalam mengikat nitrogen di dalam tanah, sehingga unsur hara tetap terjaga dan sebagai biomassa guna mempercepat pembentukan tanah di atas daerah pengendapan Sirsat, serta dapat meningkatkan kemampuan tanah untuk menahan air sehingga spesies lain dapat berkembang biak.

Gambar 4.14 menunjukkan keberhasilan dari kajian-kajian yang telah dilakukan untuk mengidentifikasi jenis-jenis tanaman dataran tinggi yang dapat tumbuh subur di atas lahan reklamasi dan dirancang untuk menemukan cara yang terbaik meningkatkan daya tahan spesies-spesies tersebut pada kondisi yang sulit. Seluruh manfaat dari transplantasi diamati dari keberhasilan menumbuhkan tanaman alami yang dihasilkan dan/atau diperkenalkan lewat transplantasi pada daerah uji coba. Spesies-spesies tanaman asli seperti *Deschampsia klossii*, *Anaphalis helwigii* dan berbagai herba asli diprediksi memiliki daya tahan sangat

tinggi terhadap kondisi di kawasan penambangan dan mampu berkembang biak secara mandiri serta tumbuh dengan pesat di daerah tersebut.



Gambar 4.14. Pengembang Biakan Pohon Cemara (Tanaman Alpin) di Sepanjang Sungai Otomona (Sumber: Hasil Survey, 2014)

Namun, penanaman tanaman asli seperti tampak pada gambar di atas belum menunjukkan perubahan yang berarti dari segi penurunan kandungan merkuri karena kualitas air sumur penduduk yang diambil sampelnya menunjukkan kandungan merkuri masih melebihi baku mutu yang ditetapkan pemerintah. Hal ini dimungkinkan karena tanaman yang ditanam di lahan reklamasi sampai saat ini hanya bertujuan untuk merubah kawasan pengendapan Sirsat menjadi lahan yang dapat ditanami dan untuk mencegah erosi.

Sebaiknya pada lahan reklamasi tersebut perlu ditanami tanaman yang memiliki kemampuan fitoremediasi di ekosistem perairan, seperti tanaman Poplar Kuning (*Liriodendron Tulipifera*) seperti tampak pada Gambar 4.15 memiliki kemampuan mengakumulasi merkuri dalam jumlah yang tinggi. Pohon ini merupakan tanaman yang dapat hidup di dataran tinggi dengan suhu yang rendah, sehingga cocok dengan kondisi alam di kawasan pengendapan Sirsat. Merkuri yang berasal dari air limbah dan Sirsat ini adalah masukan luar ke dalam irigasi tanaman, sehingga tidak adaptif di dalam akar tanaman ini. Hal tersebut memperkuat penggunaan tanaman ini dalam mengolah air limbah dan remediasi lingkungan tanah yang tercemar.



Gambar 4.15. Tanaman Poplar Kuning (*Liriodendron Tulipifera*) Untuk Mengakumulasi Merkuri (Sumber: Moreno, 2008)

Dalam hal kesepakatan program untuk mendaur ulang Sirsat sebagai bahan campuran beton dalam pembangunan prasarana lokal yang telah dilakukan Pemerintah Provinsi Papua bersama perusahaan tambang sejak tahun 2007, membuat Sirsat telah dijadikan bahan utama untuk membangun jembatan, jalan, saluran drainase, dan mencetak sejumlah produk seperti batako, paving block, penahan ombak, serta gorong-gorong. Adapun yang disayangkan adalah masih rendah dan belum optimalnya tingkat dan metode pemanfaatan Sirsat dan pengolahan daerah pengendapan tersebut karena hingga saat ini belum pernah dilakukan pemeriksaan *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) dan uji toksisitas (LD 50) terhadap beton dari Sirsat tersebut. Hal ini mengakibatkan tingkat permintaan dan tingkat kepercayaan dari pihak yang ingin memanfaatkan beton tersebut tidak banyak sehingga pemanfaatan Sirsat menjadi beton menjadi tidak optimal.

4.2.3. Upaya Pengelolaan dan Pemantauan Lingkungan

Secara alami keberadaan deposit sumberdaya tambang selalu berinteraksi dan berkaitan dengan lingkungan habitatnya, seperti tanah, air, dan tumbuh-tumbuhan. Sehingga salah satu faktor mendasar yang tidak dapat dihindari pada saat melakukan eksploitasi deposit tambang tersebut adalah terjadinya degradasi lingkungan dan terjadi pemisahan alamiah terhadap ukuran partikel yang berbeda dan densitas tertentu dari Sirsat dalam perjalanannya dari lokasi pertambangan hingga ke kawasan pengendapan. Partikel kasar Sirsat dengan ukuran $0,3\ \mu\text{m}$ – $0,6\ \mu\text{m}$ cenderung menetap di hulu kawasan ModADA, sedangkan partikel halus yang berukuran kurang dari $0,3\ \mu\text{m}$ tetap tersuspensi di Sungai Otomona.

Maka, program jangka panjang pemantauan lingkungan hidup dengan melakukan evaluasi potensi dampak yang ditimbulkan oleh pengelolaan Sirsat harus dilakukan yaitu dengan secara rutin mengukur mutu air, biologi, hidrologi, sedimen, mutu udara dan meteorologi di dalam wilayah kegiatan. Termasuk juga didalamnya adalah meneliti hewan air akuatik, biologi akuatik, jaringan akuatik,

jaringan tumbuhan, air tambang, air permukaan, air tanah, air limbah sanitasi, sedimen sungai, dan Sirsat.

Dalam kebijakan lingkungan yang harus dimiliki oleh para *stakeholder* dengan melakukan audit internal maupun eksternal terhadap lingkungan secara berkala guna mengevaluasi kepatuhan, sistem pengelolaan dan praktik-praktik kegiatan terhadap lingkungan. Audit lingkungan yang dilakukan akan menghasilkan informasi tentang kinerja lingkungan saat ini serta membantu mengidentifikasi peluang-peluang perbaikan, dan harus menanggapi hasil audit-audit tersebut dengan rencana kerja untuk melaksanakan usulan yang diajukan oleh para auditor.

Adapun salah satu faktor yang mempengaruhi pelaksanaan kebijakan adalah disposisi pelaksana yang meliputi pemahamannya terhadap kebijakan tersebut. Seluruh tindakan dan preferensi nilai yang dimiliki oleh pemerintah selaku pelaksana dengan tugas pokok dan fungsi mengelola dan mengawasi kegiatan penambangan sebaiknya dilakukan dengan komitmen yang kuat dalam menindak secara tegas pelanggaran yang terjadi.

Secara ekonomi, suatu kegiatan penambangan memang mampu mendatangkan keuntungan yang besar yang diantaranya berupa devisa dan penyerapan tenaga kerja, serta meningkatkan Pendapatan Asli Daerah (PAD) bagi Kabupaten Mimika. Oleh karena itu, keuntungan ekonomi tersebut sebaiknya telah memperhitungkan biaya yang harus dikeluarkan untuk mengatasi kerusakan lingkungan akibat kegiatan penambangan yang sarat dengan eksplorasi dan eksploitasi sumber daya alam.

Adapun teknik-teknik yang dipakai untuk pengelolaan dan pengendalian dampak lingkungan dari Sirsat telah berkembang dengan baik, namun untuk isu-isu yang berkaitan dengan sosial ekonomi masih merupakan tantangan yang belum terselesaikan. Perusahaan pertambangan masih bergulat dengan isu-isu sosial seperti:

- Kompensasi kehilangan lahan dan akses sumberdaya alam dan juga potensi kehilangan ekonomis dan gangguan terhadap kehidupan budaya.
- Pengelolaan dampak yang berkaitan dengan operasi pertambangan seperti: masuknya pendatang baru yang berpotensi menimbulkan ketidak

seimbangan pendapatan, konsumsi air bersih, dan terjadinya persaingan yang disebabkan pemakaian air bersih dan sumberdaya alam lain yang dipergunakan bersama.

- Tuntutan untuk melaksanakan program *community development*, pengembangan kesempatan kerja dan mekanisme untuk mendistribusikan keuntungan sosial secara lebih luas di antara masyarakat lokal.

Dengan mengingat besarnya dampak yang disebabkan oleh aktivitas tambang, diperlukan upaya-upaya pengelolaan yang terencana dan terukur. Beberapa upaya yang dapat digunakan sebagai upaya pengendalian dampak pengelolaan Sirsat terhadap sumberdaya air, vegetasi dan hewan liar adalah:

- a. Mengembangkan rencana sistem pengendalian tumpahan limbah cair dan Sirsat untuk mengurangi masuknya limbah B3 ke badan air.
- b. Menghindari kegiatan konstruksi selama dalam tahap kritis.
- c. Mengurangi kemungkinan terjadinya keracunan akibat sianida terhadap burung dan hewan liar dengan menetralisasi sianida di kawasan pengendapan Sirsat atau dengan memasang pagar dan jaring untuk mencegah hewan liar masuk ke dalam kawasan pengendapan Sirsat.
- d. Membatasi dampak yang disebabkan oleh fragmentasi habitat
- e. Larangan penambangan liar dan berburu hewan liar di kawasan tambang.

Adapun upaya pengendalian dampak pengelolaan Sirsat tersebut perlu dilakukan karena telah berlangsungnya penambangan tanpa ijin (PETI) yang dilakukan oleh masyarakat seperti tampak pada Gambar 4.16. Hal ini mengakibatkan proses pengelolaan Sirsat tidak berjalan secara optimal dan selain itu memberikan dampak terhadap kesehatan masyarakat. Aktivitas tambang tersebut memunculkan peluang penambang menghirup uap air raksa ketika kegiatan pendulangan dilakukan. Hal ini dapat menimbulkan gejala kelainan neurologik akibat dari menghirup uap air raksa tersebut seperti yang sudah dijelaskan pada aspek teknis di atas.



Gambar 4.16. Penambangan Tanpa Ijin oleh Masyarakat.

Sistem pengendalian tumpahan limbah cair dari proses ekstraksi dan pengolahan bijih mineral yang dilakukan oleh perusahaan tambang masih tidak layak karena berdasarkan hasil wawancara terhadap para penambang liar tersebut bahwa dalam kurun waktu seminggu mereka dapat membawa hasil dulangan sekitar 5 hingga 10 gram emas. Maka, perlu dilakukan penelaahan dan tindak lanjut dari sistem penambangan dan pengolahan yang telah dilakukan perusahaan tambang.

Perhatian dari Pemerintah Kabupaten Mimika terhadap pengolahan air minum yang masih belum banyak dilakukan oleh masyarakat Kota Timika perlu ditingkatkan karena perilaku masyarakat yang masih memanfaatkan air sungai dan sumur sebagai sumber air untuk keperluan sehari-harinya. Hal tersebut dapat bertujuan untuk meningkatkan pengetahuan dan pemahaman masyarakat tentang pengolahan dan penyimpanan air minum yang sudah diolah sehingga dampak terhadap penurunan derajat kesehatan masyarakat dapat dikurangi.

4.3. Analisa Aspek Kelembagaan

Kabupaten Mimika memiliki sebuah kawasan industri pertambangan yang sangat luas yang memanfaatkan tiga buah sungai, yaitu Sungai Aghagawon, Sungai Ajkwa, dan Sungai Otomona yang masih dijadikan sumber air bersih oleh masyarakat di sekitar sungai-sungai tersebut. Dari kegiatan pertambangan tersebut sangat berpotensi menjadi sumber pencemaran air sungai, khususnya Sungai Otomona yang sangat dekat dengan pusat Kota Timika.

Kebijakan otonomi daerah pada saat ini yang didasarkan oleh Undang-undang Nomor 32 Tahun 2005 tentang Pemerintahan Daerah masih memerlukan penyempurnaan dalam pelaksanaannya, karena adanya ketidak selarasan dan ketidak sinkronan antara kebijakan yang dikeluarkan Pemerintah Pusat dengan kebijakan Pemerintah Daerah. Adapun tumpang tindihnya kebijakan beserta peraturan yang ada dalam bidang kewenangan pemerintahan, salah satunya adalah di bidang pengelolaan sumber daya alam khususnya Sungai Otomona. Pada Peraturan Pemerintah Nomor 25 Tahun 2000 tentang Kewenangan Pemerintah Pusat dan Provinsi sebagai Daerah Otonom, maka pengelolaan Sungai Otomona pun terbagi-bagi dalam kewenangan Pemerintah Pusat, Pemerintah Provinsi Papua dan Pemerintah Kabupaten Mimika.

Perhatian dari Pemerintah Provinsi Papua dan Pemerintah Kabupaten Mimika dengan memberikan tanggung jawab kepada beberapa instansi seperti Bappeda (Badan Perencanaan Pembangunan Daerah) yang berperan dalam perencanaan pembangunan ekonomi, sosial budaya maupun sarana dan prasarana daerah, termasuk di dalamnya perencanaan pengelolaan DAS; dan BPLH (Badan Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan Hidup) yang berperan utama dalam pengendalian dampak lingkungan, khususnya pencemaran air, tanah dan udara.

Bappeda Provinsi Papua dan Bappeda Kabupaten Mimika yang mempunyai tugas pokok melaksanakan penyusunan dan pelaksanaan kebijakan daerah di bidang perencanaan pembangunan daerah serta pengendalian dan evaluasi menjadikan penentu dan pengendali dari pencapaian visi provinsi atau kabupaten, sehingga dalam perumusan visinya harus mencerminkan upaya pencapaian visi dan misi pemerintah kota. Untuk menjadikan Bappeda yang

visioner tentu banyak aspek yang harus menjadi perhatian, karena hal ini berkaitan dengan keberadaannya sebagai lembaga teknis yang bergerak dibidang perencanaan pembangunan dan menjadi lokomotif pembangunan di Provinsi Papua dan Kabupaten Mimika.

Salah satu hal yang dapat dijadikan perhatian dan harapan adalah kualitas air Sungai Otomona yang telah mengalami pencemaran akibat dari aktivitas tambang dapat segera diperbaiki sehingga tidak memberikan dampak negatif yang lebih besar terhadap masyarakat dan lingkungan disekitarnya. Besarnya kewenangan yang dimiliki Bappeda Provinsi Papua dan Bappeda Kabupaten Mimika, menjadikan Bappeda lembaga strategis yang keberadaannya menjadi *think tank*-nya pembangunan daerah. Oleh karena itu, kredibilitas Bappeda Provinsi Papua dan Bappeda Kabupaten Mimika sebagai lembaga perencanaan pengelolaan lingkungan, harus memenuhi beberapa syarat, yaitu:

- 1) Aspiratif, dimana dalam penyusunannya keterlibatan para pemangku kepentingan (*stakeholder*) secara aktif pada setiap tahapan perencanaan pembangunan menjadi suatu keniscayaan.
- 2) Antisipatif, artinya perencanaan yang dihasilkan tidak hanya untuk memenuhi kebutuhan saat ini saja tetapi yang lebih penting dapat menjawab kebutuhan yang akan datang dan yang mungkin terjadi atau orientasi ke depan (tidak bersifat statis).
- 3) Aplikatif, artinya produk perencanaan dengan mudah dapat dijadikan sebagai bahan acuan dan pedoman bagi SKPD maupun pemangku kepentingan lainnya.
- 4) Akuntabel, setiap program/kegiatan dan hasil akhir dari tahapan perencanaan pembangunan dapat dipertanggung jawabkan kepada masyarakat sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Pemantapan fungsi dan peran perencanaan pengelolaan lingkungan Sungai Otomona ke depan harus melalui upaya-upaya yang lebih cerdas dan terarah namun tetap ramah dalam meningkatkan akselerasi pembangunan guna tercapainya kemakmuran dan kesejahteraan masyarakat.

BPLH Papua selaku unsur pembantu gubernur yang paling sesuai dalam upaya pengelolaan kualitas air Sungai Otomona, dituntut selalu melakukan pembenahan kinerja. Pembenahan kinerja diharapkan mampu meningkatkan peran serta fungsi BPLH Papua sebagai sub sistem dari sistem pemerintahan daerah yang berupaya memenuhi aspirasi masyarakat. Untuk mewujudkan sasaran yang ingin dicapai harus dipilih strategi yang tepat agar tujuan dan sasaran dapat tercapai. Strategi BPLH Papua dapat mencakup penentuan kebijakan, program dan kegiatan. Kebijakan pada dasarnya merupakan ketentuan-ketentuan yang telah disepakati pihak-pihak terkait dan ditetapkan oleh yang berwenang untuk dijadikan pedoman, pegangan atau petunjuk bagi setiap kegiatan agar tercapai kelancaran dan keterpaduan dalam upaya mencapai sasaran yang telah ditentukan.

Namun yang disayangkan berdasarkan penelusuran terhadap kinerja yang telah dilaksanakan oleh BPLH Papua, nama Sungai Otomona belum muncul di seluruh program yang dimiliki lembaga tersebut. Maka dapat diambil kesimpulan bahwa BPLH Papua masih belum tepat dalam memilih strategi dan membuat indikator kinerja utama, karena tiga sungai tersebut belum menjadi target utama dalam upaya peningkatan ketersediaan kuantitas dan kualitas air permukaan. Oleh karena itu, hendaknya BPLH Papua segera memasukan Sungai Otomona di dalam rancangan tujuan dan sasaran untuk 5 tahun ke depan. Sasaran tersebut wajib dirumuskan dengan rumusan yang spesifik, terukur dan dalam kurun waktu yang lebih pendek dari tujuan agar dapat tercapai.

Pencapaian sasaran strategis tersebut dapat diindikasikan dari realisasi kinerja perusahaan tambang yang mematuhi persyaratan administrasi dan teknis pencegahan pencemaran air, dan kualitas air Sungai Otomona yang memenuhi Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001. Peninjauan ulang program pengendalian pencemaran yang dilakukan perusahaan tambang dengan tujuan untuk mencapai sasaran terpenuhinya standar baku mutu lingkungan Sungai Otomona. Hal ini dapat dilakukan BPLH Papua dengan membuat beberapa kebijakan seperti:

1. Meningkatkan upaya pengelolaan lingkungan sungai sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan yang berlaku;

2. Meningkatkan upaya pencegahan pencemaran dan kerusakan lingkungan Sungai Otomona dari sumber pencemar;
3. Meningkatkan upaya konservasi dan rehabilitasi Sungai Otomona yang mengalami pencemaran dan kerusakan.
4. Mendorong kewajiban dan partisipasi perusahaan tambang dalam aktivitas konservasi dan rehabilitasi Sungai Otomona.

Upaya pengelolaan Sungai Otomona yang telah dilaksanakan tersebut tidak terpadu dikarenakan tumpang tindihnya tugas pokok dan fungsi masing-masing lembaga/instansi sebagai akibat dari ego sektoral lembaga tersebut. Upaya pendekatan pengelolaan Sungai Otomona berbeda-beda menurut kepentingan lembaga yang bersangkutan sehingga lemah dan tidak adanya koordinasi antar instansi.

Oleh karena itu, kesungguhan Pemerintah Provinsi Papua dan Pemerintah Kabupaten Mimika dalam perencanaan pengelolaan Sungai Otomona yang terpadu lintas sektoral dapat dengan memberikan alokasi dana tambahan yang proporsional dan sesuai aturan untuk pengelolaan sungai tersebut dan menjalin kerjasama dengan pihak swasta untuk melakukan pengelolaan lingkungan di kawasan Sungai Otomona. Pengaturan urusan pengelolaan DAS menurut kewenangan masing-masing lembaga juga perlu diperjelas, sehingga dapat meningkatkan pengawasan terhadap Sungai Otomona. Selain itu, pemerintah daerah wajib memberikan alternatif sumber air yang layak untuk masyarakat sebagai pengganti dari air Sungai Otomona dan sumur penduduk yang sudah tidak layak dikonsumsi.

Peraturan Daerah Nomor 6 Tahun 2008 tentang Pelestarian Lingkungan Hidup, sebaiknya diikuti dengan terbentuknya Perda tentang air limbah dan tentang pengelolaan DAS, sehingga apabila perusahaan tambang tidak dapat memenuhi Perda yang telah dibuat maka Pemda dapat menghentikan atau menunda kontrak kerja perusahaan tambang. Kualitas SDM BPLH Papua juga perlu ditingkatkan dengan memberikan pendidikan dan pelatihan yang sesuai agar monitoring, evaluasi dan penegakan hukum dapat dilaksanakan sesuai aturan yang

berlaku. Begitu pula dengan penyuluhan kepada masyarakat agar dapat meningkatkan kepedulian akan air bersih.

4.3.1. Kerjasama Pemerintah dan Swasta

Pemerintah Daerah Kabupaten Mimika dan Pemerintah Provinsi Papua sangat berkepentingan untuk memprioritaskan perhatian pada limbah buangan industry tambang, khususnya Sirsat dan kualitas air Sungai Otomona. Namun beberapa masalah yang dihadapi sangat kompleks, yaitu:

- (1) Belum adanya peraturan daerah tentang pencemaran tanah dan air, serta Perda tentang pemeriksaan limbah cair industri di Kabupaten Mimika dan Provinsi Papua,
- (2) Data yang dimiliki sangat minim untuk mendeteksi jumlah Sirsat yang dibuang ke Sungai Otomona,
- (3) Improvisasi dalam pelaksanaan tugas selalu terpaku dengan petunjuk maupun prosedur dan mekanisme yang berlaku,
- (4) Hubungan yang terbatas antara instansi satu dengan instansi lain, juga antara instansi dengan perusahaan pertambangan,
- (5) Dari pemerintah sendiri tidak mempunyai target yang jelas untuk mengatasi pencemaran.

Melihat kondisi yang demikian, Pemerintah Kabupaten Mimika sebaiknya mencoba menyelesaikan masalah dengan cara melakukan penelitian terhadap limbah cair (*effluent*) dari sampel kegiatan pertambangan tersebut dan kualitas air Sungai Otomona. Setelah diperoleh hasilnya kemudian dilaporkan ke Gubernur dengan tembusan kepada Menteri Kehutanan dan Lingkungan Hidup serta Menteri Perindustrian dan Perdagangan, dan bila dimungkinkan dapat dikomunikasikan pula ke media massa, serta disampaikan ke berbagai seminar tentang lingkungan hidup untuk meminta tanggapan para pakar, lembaga dan industriawan.

Dari hasil laporan tersebut dirumuskan upaya untuk pemecahan masalah yang ada dan penyelesaiannya dilakukan secara bertahap, yaitu dengan membuat

Perda yang berkaitan dengan pencegahan pencemaran tanah dan air serta pemeriksaan limbah cair industri. Sambil menunggu disahkannya Raperda tersebut, maka dapat diambil jalan keluar untuk menghidupkan organisasi melalui kinerja yang sedekat mungkin membawa misi sesuai dengan tugas pokok dan fungsi, yaitu melalui kerjasama kemitraan dengan organisasi atau lembaga yang ada di luar instansi Pemerintah Kabupaten Mimika dan/atau Pemerintah Provinsi Papua tetapi memiliki relevansi yang kuat. Adapun upaya yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan kesepakatan kerja dengan Pusarpedal-Bapedal yang memiliki laboratorium lingkungan yang lengkap dan perusahaan swasta yang memiliki divisi lingkungan hidup. Kerjasama ini dapat dilandasi dengan membuat sebuah surat keputusan dari Bupati Mimika dan/atau Gubernur Provinsi Papua.

Bentuk kerjasama antara Pemerintah Kabupaten Mimika dan/atau Pemerintah Provinsi Papua dengan Pusarpedal-Bapedal maupun dengan perusahaan swasta dapat dibuatkan dengan naskah kerjasama kemitraan sebagai berikut:

- (1) Kesepakatan kemitraan antara Pemerintah Kabupaten Mimika dan/atau Pemerintah Provinsi Papua dengan Pusarpedal-Bapedal, meliputi jasa laboratorium untuk pengujian air dan tanah serta melakukan pendidikan dan pelatihan bagi staf pengelola lingkungan dan staf pengelola instalasi pengelolaan air limbah pada perusahaan pertambangan.
- (2) Kesepakatan kemitraan antara Pemerintah Kabupaten Mimika dan/atau Pemerintah Provinsi Papua dengan perusahaan swasta yang memiliki divisi lingkungan hidup, meliputi pemasyarakatan peraturan dan sistem pengelolaan lingkungan kepada perusahaan pertambangan; analisa dan pengujian terhadap kualitas air dan tanah; asistensi teknis dalam bidang perencanaan teknis pengelolaan Sirsat, AMDAL, dan UKL/UPL; memonitoring pelaksanaan pengelolaan Sirsat di Sungai Otomona.

Sedangkan mekanisme kerjasama kemitraannya dapat berjalan sebagai berikut:

- (1) Pemerintah Kabupaten Mimika dan/atau Pemerintah Provinsi Papua sesuai dengan peraturan perundang-undangan mengarahkan kepada

perusahaan pertambangan yang menghasilkan limbah cair dan Sirsat untuk memeriksakan effluen atau contoh limbahnya serta sampel air Sungai Otomona ke Pusarpedal; tembusan hasil analisa dapat disampaikan kepada Pemerintah Kabupaten Mimika dan/atau Pemerintah Provinsi Papua secara kolektif. Bagi perusahaan pertambangan yang selama ini sudah memeriksakan limbah cairnya di laboratorium miliknya sendiri dipersilahkan untuk diteruskan dengan kewajiban menyampaikan tembusan hasil analisa laboratorium kepada Pemerintah Kabupaten Mimika dan/atau Pemerintah Provinsi Papua sebagai bahan verifikasi, pembinaan dan pengendalian.

- (2) Berdasarkan laporan kolektif hasil analisa Pusarpedal dan laporan-laporan dari perusahaan pertambangan yang memeriksakan contoh limbahnya di laboratoriumnya sendiri tersebut, Bagian Lingkungan Hidup di Pemerintah Kabupaten Mimika dan/atau Pemerintah Provinsi Papua melakukan verifikasi sehingga diketahui kualitas limbah cair dan Sirsat serta air Sungai Otomona yang berada diatas baku mutu yang telah ditetapkan pemerintah.
- (3) Berdasarkan hasil analisa laboratorium tersebut, maka Bagian Lingkungan Hidup bersama perusahaan swasta yang memiliki divisi lingkungan hidup tersebut melakukan verifikasi lapangan yang dilaksanakan setiap hari kerja. Untuk itu diperlukan 2 orang ahli dari perusahaan swasta yang akan bersama dengan 2 staf Bagian LH untuk setiap hari melakukan sertifikasi secara terencana sesuai target.
- (4) Apabila dari hasil verifikasi lapangan secara teknis mengharuskan pihak perusahaan tambang yang bersangkutan melakukan desain atau desain ulang pengelolaan limbah cair dan Sirsat, maka mekanisme negosiasi selanjutnya antara perusahaan pertambangan dengan konsultan lingkungan sepenuhnya diserahkan kepada mereka, sejalan dengan hukum permintaan dan penawaran. Dalam hal ini intervensi tetap sebatas tugas dan fungsi sesuai ketentuan.
- (5) Setelah dilakukan perbaikan metode pengelolaan, maka perusahaan swasta masih mempunyai kewajiban melakukan supervisi

(*commissioning*) sampai memenuhi baku mutu dan melaporkan perkembangannya pada Bupati Mimika dan/atau Gubernur Papua. Kegiatan ini berjalan terus hingga akhirnya perusahaan tambang yang membuang limbah cair dan Sirsat sesuai peraturan yang berlaku sesuai tugas pokok dan fungsi dari Bagian Lingkungan Hidup. Dengan demikian persyaratan lingkungan tidak menjadi hambatan ekspor hasil tambang yang dihasilkan.

- (6) Disamping melakukan verifikasi pengelolaan limbah cair dan Sirsat, Pemerintah Kabupaten Mimika dan/atau Pemerintah Provinsi Papua bersama perusahaan swasta yang memiliki divisi lingkungan juga dapat melakukan verifikasi UKL dan UPL perusahaan tambang terhadap upaya apa saja yang telah dicantumkan di dalam dokumen tersebut.

Manfaat yang dapat diambil dari dilakukannya kemitraan antara Pemerintah Kabupaten Mimika dan/atau Pemerintah Provinsi Papua dengan Pusarpedal dan perusahaan swasta adalah:

- a. Data kualitas limbah cair, Sirsat, air Sungai Otomona serta kinerja pengelolaannya yang dilakukan oleh perusahaan tambang dapat diketahui dan digunakan untuk memberikan pembinaan kepada perusahaan tambang tersebut tentang bagaimana dan seharusnya perusahaan tambang memperbaiki dan menjalankan upaya pengelolaan dengan baik dan sesuai ketentuan yang berlaku.
- b. Dengan personil yang dimiliki oleh Pemerintah Kabupaten Mimika dan/atau Pemerintah Provinsi Papua, melalui proses perumusan Raperda, perumusan kesepakatan kemitraan dan diskusi/rapat serta konsultasi dari berbagai pihak akan memberikan landasan, wawasan dan kerangka berpikir yang sistematis di dalam mengelola lingkungan hidup di sekitar kawasan pertambangan.
- c. Improvisasi dan kiat baru dapat dikembangkan dalam pelaksanaan tugas dimana seluruh personil Pemerintah Kabupaten Mimika dan/atau Pemerintah Provinsi Papua tidak lagi terpaku pada petunjuk maupun prosedur serta mekanisme baku tetapi selalu melakukan pendekatan

dengan cara yang baru dan inovatif, termasuk melakukan pelatihan sebagai tindak lanjut verifikasi.

- d. Hubungan keluar yang semakin luas, baik karena adanya kerjasama maupun dalam upaya memecahkan masalah lingkungan hidup lainnya di luar kawasan pertambangan, limbah cair, Sirsat, atau sungai. Beberapa lembaga pemerintah dan swasta dapat tertarik berkerjasama dengan Pemerintah Kabupaten Mimika dan/atau Pemerintah Provinsi Papua dalam konteks yang lain.
- e. Target dan sasaran yang menjadi misi Pemerintah Kabupaten Mimika dan/atau Pemerintah Provinsi Papua dapat direncanakan dengan jelas sehingga kualitas limbah cair, Sirsat dan air Sungai Otomona dapat sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan.
- f. Perhatian Bupati Mimika dan/atau Gubernur Papua mulai mengalir, bahkan dapat mendorong untuk melaksanakan kerjasama kemitraan dengan berbagai pihak lainnya.
- g. Penggunaan anggaran tidak lagi terbatas pada APBD, tetapi dari sumber lain dari hasil kerjasama yang akan mampu menjalankan kegiatan termasuk adanya bantuan atau hibah dari negara lain.
- h. Pembuatan dan pengembangan database membantu untuk mengetahui status kinerja pengelolaan limbah cair, Sirsat dan air Sungai Otomona. Data tersebut dapat segera diketahui setiap diperlukan.

Adapun banyak hal yang dapat dipelajari dari kerjasama kemitraan ini, seperti bahwa volume kerja yang besar tidak selalu harus dilaksanakan dalam atau oleh organisasi yang besar dengan jumlah personil yang banyak, namun dengan organisasi yang relatif tidak berubah dan tidak menambah personil (tetapi mutlak untuk dilakukan peningkatan kualitas SDM, baik dari penambahan ilmu dan ketrampilan maupun wawasannya). Maka suatu organisasi akan mampu meningkatkan kinerjanya secara optimal sepanjang organisasi tersebut mampu memanfaatkan potensi kemitraan untuk mencapai misi organisasi.

Kemitraan antara pemerintah pusat dengan pemerintah daerah dan swasta juga dapat merubah sistem kerja di BPLH Kabupaten Mimika dan/atau BPLH

Provinsi Papua dari organisasi yang statis menjadi organisasi yang dinamis yang didasarkan pada peraturan daerah yang dibuat untuk memayungi kerjasama tersebut. Peran serta aktif dari perusahaan tambang untuk melakukan perbaikan kualitas air Sungai Otomona dengan membuat sebuah pengolahan sederhana seperti yang telah dijelaskan pada aspek teknis sehingga diperoleh data-data tentang kualitas air limbah dan Sirsat yang dibuang ke Sungai Otomona untuk dimasukkan ke dalam database merupakan salah satu cara pendekatan yang dapat dilakukan oleh pemerintah daerah yang merujuk kepada peraturan daerah tentang kemitraan tersebut untuk memudahkan dalam penanggulangan permasalahan-permasalahan lingkungan yang terabaikan.



“HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN”

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Pengelolaan Sirsat yang memanfaatkan aliran Sungai Otomona telah memberikan dampak terhadap kualitas air Sungai Otomona dan sumur penduduk Kota Timika yang berbatasan langsung dengan sungai tersebut dan kawasan pengendapan Sirsat (ModADA). Titik sampling L4 dan L5, yaitu sumur penduduk yang berada di lokasi paling dekat dengan Sungai Otomona dan kawasan pengendapan Sirsat telah dicemari dengan kandungan Hg yang telah melampaui ambang batas yang ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001.
2. Alternatif pengelolaan lingkungan khususnya Sirsat yang dapat dilakukan baik oleh perusahaan pertambangan maupun pemerintah antara lain adalah melaksanakan teknik penambangan yang ramah lingkungan dan terus dimodifikasi secara periodik mengikuti perkembangan teknologi; reklamasi dan penghijauan kembali, serta rehabilitasi lokasi-lokasi di kawasan tambang yang baik yang terdampak akibat pengelolaan Sirsat maupun lokasi yang sudah tidak dipergunakan lagi dalam aktivitas pertambangan dapat diarahkan untuk mencapai kondisi seperti sebelum dilakukan penambangan atau kondisi lain yang telah disepakati bersama.
3. Bentuk kerjasama kemitraan antara Pemerintah Kabupaten Mimika dan/atau Pemerintah Provinsi Papua bersama Pusarpedal dan perusahaan swasta dalam upaya mengurangi pencemaran pada Sungai Otomona akibat limbah cair dan pengelolaan Sirsat yang dihasilkan perusahaan tambang merupakan alternatif yang menarik untuk dicoba dilaksanakan agar dampak positif, seperti munculnya peraturan daerah tentang pengendalian pencemaran limbah cair industri dapat terwujud.

5.2 Saran

Adapun saran yang ingin disampaikan pada penelitian ini adalah:

1. Pemerintah Kabupaten Mimika dan/atau Pemerintah Provinsi Papua harus segera melakukan tindakan nyata, seperti memberikan alternatif sumber air bersih baru bagi masyarakat di sekitar Sungai Otomona agar masyarakat tidak lagi menggunakan air sungai tersebut dan sumur penduduk sebagai sumber air bersih dalam kehidupan mereka melainkan dari langsung dari kran air di rumah mereka yang sumbernya dari sungai atau sumber air yang tidak tercemar. Hal ini agar masyarakat terhindar dari pencemaran logam berat akibat dari limbah cair industri dan pengelolaan Sirsat.
2. Upaya-upaya pengelolaan kualitas air Sungai Otomona harus dijadikan prioritas dari perusahaan pertambangan yang dalam pelaksanaannya harus lebih intensif diawasi baik oleh pemerintah pusat maupun pemerintah daerah.
3. Bentuk komitmen dari pemerintah dengan membuat peraturan yang mengatur kerjasama kemitraan dengan pihak swasta sebaiknya segera diwujudkan dalam upayanya mengendalikan pencemaran air Sungai Otomona.
4. Perlu dilakukan penelitian selanjutnya terhadap jaringan tubuh manusia, misalnya pada rambut masyarakat Kota Timika untuk menilai sejauh mana kontaminasi merkuri yang telah mencemari sumur penduduk. Juga perlu dilakukan penelitian lanjutan, yaitu analisis resiko untuk memprediksi resiko kesehatan yang potensial muncul, atau penelitian terhadap biomarker efek.

DAFTAR PUSTAKA

American Public Health Association (1999), *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, APHA, Washington DC.

Asdak, C., (2004), *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.

Australia Environment Protection Authority (1996), *Environmental Guidelines for Major Construction Sites*, EPA Victoria, Melbourne.

Boyd, C.E. (1998), “*Water Quality for Pond Aquaculture*”, Research and Development Series No. 43, Department of Fisheries and Allied Aquacultures, Auburn University, Alabama.

Campbell, I.C. (2002), Biological Monitoring and Assessment using Invertebrates, dalam *Environmental Monitoring Handbook*, eds. Burden, F.R., McKelvie, I., Forstner, U. dan Guenther, A., McGraw-Hill, New York, hal. 5.1-5.16.

Darmawan, H. dan Masduqi, A. (2014), “*Indeks Pencemaran Air Laut Pantai Utara Tuban dengan Parameter TSS dan Kimia Non-Logam*”, Jurnal Teknik Pomits, Vol. 3, No. 1, hal. D-16–D-20.

Darmono, (1995), *Logam dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*, University of Indonesia Press, Jakarta.

Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2003), *Pemantauan Kualitas Air*, Balai Lingkungan Keairan, Bandung.

DeSanto, R.S., (1978), *Concepts of Applied Ecology*, Springer-Verlag, New York.

Dilapanga, C.S., (2009), *Teknologi Pengelolaan Kualitas Air*, Program Alih Jenjang D4 Bidang Akuakultur SITH, ITB, Bandung.

Fardiaz, S., (1992), *Polusi Air dan Udara*, Kanisius, Yogyakarta.

Food and Agriculture Organization (1986), *Environmental Capacity an Approach to Marine Pollution Prevention*, GESAMP, FAO, Roma.

- Gao, J. (2013), "*The Assessment of Water Environmental Quality Based on Extension Method*", *Frontiers in Environmental Engineering (FIEE)*, Vol. 2, No. 4, hal. 63-66.
- Grandjean, P., Satoh, H., Murata, K., dan Eto, K. (2010), "*Adverse Effects of Methylmercury: Environmental Health Research Implications*", *Environmental Health Perspectives*, Vol. 118, No. 8, hal. 1137-1145.
- Haryanto, T. (2008), *Pencemaran Lingkungan*, Cempaka Putih, Klaten.
- Hisyam, M.S., (1998), *Analisa SWOT Sebagai Langkah Awal Perencanaan Usaha*, SEM Institute, Jakarta.
- Indonesia (1980), *Peraturan Pemerintah Nomor 27 Tahun 1980 tentang Penggolongan Bahan-bahan Galian*, Jakarta.
- Indonesia (1991), *Peraturan Pemerintah Nomor 35 Tahun 1991 tentang Sungai*, Jakarta.
- Indonesia (2001), *Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air*, Jakarta.
- Islam, M.S. dan Tanaka, M. (2004), "*Impacts of pollution on coastal and marine ecosystems including coastal and marine fisheries and approach for management: a review and synthesis*", *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 48, No. 7-8, hal. 624-649.
- Juhaeti, T., Hidayati N., Syarif F., dan Hidayat, S. (2009). "*Pertumbuhan dan Akumulasi Merkuri Berbagai Jenis Tumbuhan yang di Tanam di Media Limbah Penambangan Emas dengan Perlakuan berbagai Tingkat Konsentrasi Merkuri dan Kelat Amonium Tiosulfat*" *Jurnal Berita Biologi*, Vol. 9, No. 5, hal. 529-538.
- Kearns, K.P. (1992), "*From Comparative Advantage to Damage Control: Clarifying Strategic Issues Using SWOT Analysis*", *Nonprofit Management & Leadership*, Vol. 3, No. 1, hal 3-22.
- Khoiron dan Wibowo, S.C. (2014), "*Environmental Health Risk Assessment to Determinate Sanitation Risk Area in Jember District in Supporting Millennium Development Goals*", *International Journal of Current Research and Academic Review*, Special Issue-1, hal. 51-57.

Kirkpatrick, S., Gelatt, Jr., C.D., dan Vecchi, M.P. (1983), "*Optimization by Simulated Annealing*", Science, Vol. 220, No. 4598, hal. 671-679.

Kristanto, P. (2013), *Ekologi Industri*, Edisi Kedua, CV. Andi Offset, Yogyakarta.

Kementerian Lingkungan Hidup (2003), *Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air*, Kementerian Lingkungan Hidup, Jakarta.

Mangkoedihardjo, S. (2007), "*Phytotechnology Integrity in Environmental Sanitation for Sustainable Development*", Journal of Applied Sciences Research, Vol. 3, No. 10, hal. 1037-1044.

Mangkoedihardjo, S. dan Samudro, G., (2010), *Fitoteknologi Terapan*, Graha Ilmu, Yogyakarta.

Margules, C.R. dan Pressey, R.L. (2000), "*Systematic Conservation Planning*", Nature Magazine, Vol. 405, hal. 243-253.

McPherson, B.F., Miller, R.L., Haag, K.H., dan Bradner, A. (2000), "*Water Quality in Southern Florida*", U.S. Geological Survey Circular 1207, Florida.

Miettinen, J.K., (1977), *Inorganic Trace Element as Water Pollutant to Health and Aquatic Biota*, Academy Press, New York.

Moreno, F.N., Anderson, C.W.N., Stewart, R.B., dan Robinson, B.H. (2008), "*Phytofiltration of Mercury-Contaminated Water: Volatilisation and Plant-Accumulation Aspects*", Environmental and Experimental Botany, Vol. 62, hal. 78-85.

Nemerow, N.L. (1974), *Scientific Stream Pollution Analysis*, McGraw-Hill, New York.

Nurdijanto, (2004), *Kimia Lingkungan*, Yayasan Peduli Lingkungan, Pati.

Odum, E. P. dan Barrett, G. W., (1971), *Fundamentals of Ecology*, W.B. Sounder Co., Philadelphia.

Palar, H. (1994), *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*, Bhineka Cipta, Jakarta.

Pressey, R.L. dan Bottrill, M.C. (2009), "*Approaches to Landscape- and Seascape-Scale Conservation Planning: Convergence, Contrasts and Challenges*", Fauna & Flora International, Vol. 43, No. 4, hal. 464-475.

- Prodjosumarto, P. (1992), Konsep Pola Penambangan Berwawasan Lingkungan, dalam *Proceeding Temu Profesi Tahunan-Pengembangan Sumberdaya Mineral yang Berkelanjutan*, Perhapi, Jakarta.
- PT. Freeport Indonesia (2009), *Pengelolaan Pasir Sisa Tambang di PT Freeport Indonesia*, PT. FI, Jakarta.
- Putranto, T.T. (2011), “Pencemaran Logam Berat Merkuri (Hg) pada Air Tanah”, *Jurnal Teknik*, Vol. 32, No. 1, hal. 62-71.
- Rahayu, S., Widodo, R.H., van Noorwijk, M., Suryadi, I. dan Verbist, B., (2009), *Monitoring Air di Daerah Aliran Sungai*, World Agroforestry Centre, Bogor.
- Reid, G.K. dan Wood, R.D., (1976), *Ecology of Inland Waters and Estuaries*, D. van Nostrand, New York.
- Saxena, N.C., Singh, G., dan Ghosh, R., (2002), *Environmental in Management in Mining Areas*, Scientific Publishers (India), Jodhpur.
- Sudarmaji, Mukono, J., dan Corie, I.P. (2006), “Toksikologi Logam Berat B3 dan Dampaknya Terhadap Kesehatan”, *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, Vol. 2, No. 2, hal. 129-142.
- Sukmadinata, N.S., (2006), *Metode Penelitian Pendidikan*, Remaja Rosdakarya, Bandung.
- Supardi, H.I., (2003), *Lingkungan Hidup dan Kelestariannya*, PT. Alumni, Bandung.
- Suripin, (2004), *Pelestarian Sumberdaya Tanah dan Air*, CV. Andi Offset, Yogyakarta.
- Sutoto. (2007), “Studi Efek Iradiasi Radium Untuk Pengolahan Limbah Sianida Industri Pertambangan Emas”, *Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah*, Vol. 10, No. 2, hal. 16-26.
- Suwondo, Febrita, E., Dessy dan Alpusari, M. (2004), “Kualitas Biologi Perairan Sungai Senapelan, Sago dan Sail di Kota Pekanbaru Berdasarkan Bioindikator Plankton dan Bentos”, *Jurnal Biogenesis*, Vol. 1, No. 1, hal. 15-20.

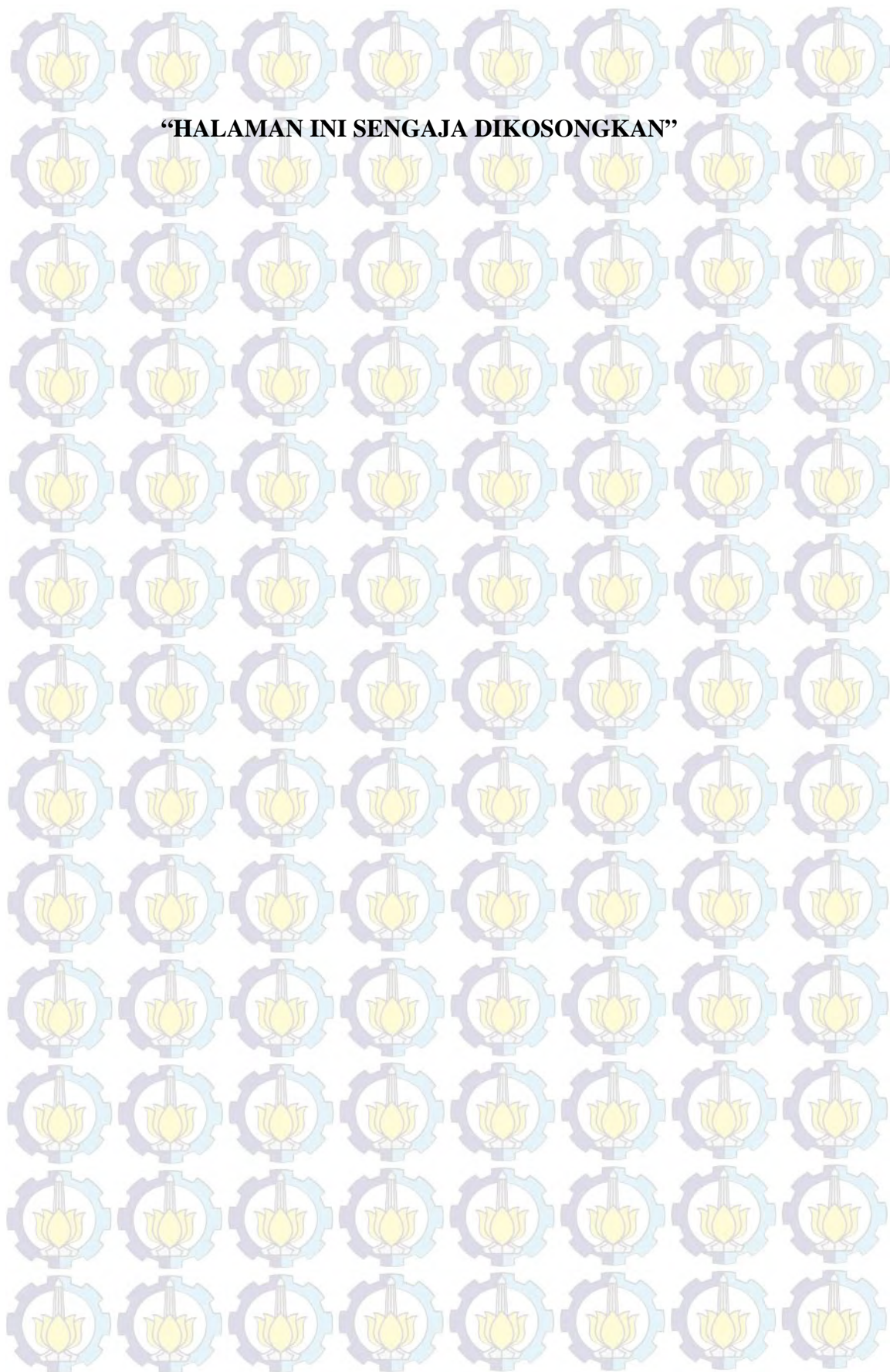
Tri-Tugaswati, A., dan Lubis, A. (1997), “*Studi Pencemaran Merkuri dan Dampaknya terhadap Kesehatan Masyarakat di Daerah Mundu Kabupaten Indramayu*”, Buletin Penelitian Kesehatan, Vol. 25, No. 2, hal. 1-9.

United States Environmental Protection Agency (1995), “*Profile of the Metal Mining Industry*”, EPA/310-R-95-008, EPA Office of Compliance Sector Notebook Project, Washington.

Wahana Lingkungan Hidup Indonesia (2006), *Dampak Lingkungan Hidup Operasi Pertambangan Tembaga dan Emas Freeport-Rio Tinto di Papua*, WALHI, Jakarta.

Wardhana, W.A., (2004), *Dampak Pencemaran Lingkungan*, CV. Andi Offset, Yogyakarta.

World Health Organization (2001), *Environmental Health Criteria 118: Inorganic Mercury*, IPCS, WHO, Geneva.



Lampiran 1. Perhitungan Indeks Pencemaran

SAMPLING 1

Indeks Pencemaran (L1)

| | Ci | Lix | | Ci/Lix | Ci/Lix baru | |
|-----|--------|-------|-------|--------|-------------|----------------------------|
| pH | 3,46 | 6-9 | 7,50 | 2,69 | 2,69 | *Lix rata2= 7,50; Ci < Lix |
| DO | 3,60 | 4,00 | 7,00 | 1,13 | 1,13 | *DO max = 7 (25°C) |
| COD | 161,35 | 25,00 | | 6,45 | 5,05 | *Ci/Lix > 1 |
| Hg | 0,079 | 0,002 | | 39,500 | 8,98 | *Ci/Lix > 1 |
| | | | Rata2 | | 4,46 | |
| | | | IP | | 7,09 | |

Indeks Pencemaran (L2)

| | Ci | Lix | | Ci/Lix | Ci/Lix baru | |
|-----|--------|-------|-------|--------|-------------|----------------------------|
| pH | 4,47 | 6-9 | 7,50 | 2,02 | 2,02 | *Lix rata2= 7,50; Ci < Lix |
| DO | 3,53 | 4,00 | 7,00 | 1,16 | 1,16 | *DO max = 7 (25°C) |
| COD | 161,38 | 25,00 | | 6,46 | 5,05 | *Ci/Lix > 1 |
| Hg | 0,083 | 0,002 | | 41,500 | 9,09 | *Ci/Lix > 1 |
| | | | Rata2 | | 4,33 | |
| | | | IP | | 7,12 | |

Indeks Pencemaran (L3)

| | Ci | Lix | | Ci/Lix | Ci/Lix baru | |
|-----|--------|-------|-------|--------|-------------|----------------------------|
| pH | 5,58 | 6-9 | 7,50 | 1,28 | 1,28 | *Lix rata2= 7,50; Ci < Lix |
| DO | 3,39 | 4,00 | 7,00 | 1,20 | 1,20 | *DO max = 7 (25°C) |
| COD | 162,02 | 25,00 | | 6,48 | 5,06 | *Ci/Lix > 1 |
| Hg | 0,086 | 0,002 | | 43,000 | 9,17 | *Ci/Lix > 1 |
| | | | Rata2 | | 4,18 | |
| | | | IP | | 7,12 | |

Indeks Pencemaran (L4)

| | Ci | Lix | | Ci/Lix | Ci/Lix baru | |
|-----|-------|-------|-------|--------|-------------|----------------------------|
| pH | 6,53 | 6-9 | 7,50 | 0,65 | 0,65 | *Lix rata2= 7,50; Ci < Lix |
| DO | 5,84 | 4,00 | 7,00 | 0,39 | 0,39 | *DO max = 7 (25°C) |
| COD | 41,35 | 25,00 | | 1,65 | 2,09 | *Ci/Lix > 1 |
| Hg | 0,003 | 0,002 | | 1,500 | 1,88 | *Ci/Lix > 1 |
| | | | Rata2 | | 1,25 | |
| | | | IP | | 1,72 | |

Indeks Pencemaran (L5)

| | Ci | Lix | | Ci/Lix | Ci/Lix baru | |
|-----|-------|-------|-------|--------|-------------|----------------------------|
| pH | 6,57 | 6-9 | 7,50 | 0,62 | 0,62 | *Lix rata2= 7,50; Ci < Lix |
| DO | 5,83 | 4,00 | 7,00 | 0,39 | 0,39 | *DO max = 7 (25°C) |
| COD | 41,28 | 25,00 | | 1,65 | 2,09 | *Ci/Lix > 1 |
| Hg | 0,002 | 0,002 | | 1,000 | 1,00 | *Ci/Lix > 1 |
| | | | Rata2 | | 1,02 | |
| | | | IP | | 1,65 | |

Indeks Pencemaran (L6)

| | Ci | Lix | | Ci/Lix | Ci/Lix baru | |
|-----|-------|-------|-------|--------|-------------|----------------------------|
| pH | 6,62 | 6-9 | 7,50 | 0,59 | 0,59 | *Lix rata2= 7,50; Ci < Lix |
| DO | 5,87 | 4,00 | 7,00 | 0,38 | 0,38 | *DO max = 7 (25°C) |
| COD | 42,06 | 25,00 | | 1,68 | 2,13 | *Ci/Lix > 1 |
| Hg | 0,000 | 0,002 | | 0,050 | 0,05 | *Ci/Lix < 1 |
| | | | Rata2 | | 0,79 | |
| | | | IP | | 1,61 | |

Rekap:

| Titik | L1 | L2 | L3 | L4 | L5 | L6 |
|--------|------|------|------|------|------|------|
| IP | 7,09 | 7,12 | 7,12 | 1,72 | 1,65 | 1,61 |
| Baik | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Ringan | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Sedang | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Berat | 10,5 | 10,5 | 10,5 | 10,5 | 10,5 | 10,5 |

SAMPLING 2

Indeks Pencemaran (L1)

| | Ci | Lix | | Ci/Lix | Ci/Lix baru | |
|-----|--------|-------|-------|--------|-------------|----------------------------|
| pH | 3,41 | 6-9 | 7,50 | 2,73 | 2,73 | *Lix rata2= 7,50; Ci < Lix |
| DO | 3,58 | 4,00 | 7,00 | 1,14 | 1,14 | *DO max = 7 (25°C) |
| COD | 162,12 | 25,00 | | 6,48 | 5,06 | *Ci/Lix > 1 |
| Hg | 0,080 | 0,002 | | 40,000 | 9,01 | *Ci/Lix > 1 |
| | | | Rata2 | | 4,48 | |
| | | | IP | | 7,12 | |

Indeks Pencemaran (L2)

| | Ci | Lix | | Ci/Lix | Ci/Lix baru | |
|-----|--------|-------|-------|--------|-------------|----------------------------|
| pH | 4,49 | 6-9 | 7,50 | 2,01 | 2,01 | *Lix rata2= 7,50; Ci < Lix |
| DO | 3,52 | 4,00 | 7,00 | 1,16 | 1,16 | *DO max = 7 (25°C) |
| COD | 162,25 | 25,00 | | 6,49 | 5,06 | *Ci/Lix > 1 |
| Hg | 0,084 | 0,002 | | 42,000 | 9,12 | *Ci/Lix > 1 |
| | | | Rata2 | | 4,34 | |
| | | | IP | | 7,14 | |

Indeks Pencemaran (L3)

| | Ci | Lix | | Ci/Lix | Ci/Lix baru | |
|-----|--------|-------|-------|--------|-------------|----------------------------|
| pH | 5,52 | 6-9 | 7,50 | 1,32 | 1,32 | *Lix rata2= 7,50; Ci < Lix |
| DO | 3,47 | 4,00 | 7,00 | 1,18 | 1,18 | *DO max = 7 (25°C) |
| COD | 162,16 | 25,00 | | 6,49 | 5,06 | *Ci/Lix > 1 |
| Hg | 0,089 | 0,002 | | 44,500 | 9,24 | *Ci/Lix > 1 |
| | | | Rata2 | | 4,20 | |
| | | | IP | | 7,18 | |

Indeks Pencemaran (L4)

| | Ci | Lix | | Ci/Lix | Ci/Lix baru | |
|-----|-------|-------|-------|--------|-------------|----------------------------|
| pH | 6,63 | 6-9 | 7,50 | 0,58 | 0,58 | *Lix rata2= 7,50; Ci < Lix |
| DO | 5,83 | 4,00 | 7,00 | 0,39 | 0,39 | *DO max = 7 (25°C) |
| COD | 40,10 | 25,00 | | 1,60 | 2,03 | *Ci/Lix > 1 |
| Hg | 0,003 | 0,002 | | 1,500 | 1,88 | *Ci/Lix > 1 |
| | | | Rata2 | | 1,22 | |
| | | | IP | | 1,67 | |

Indeks Pencemaran (L5)

| | Ci | Lix | | Ci/Lix | Ci/Lix baru | |
|-----|-------|-------|-------|--------|-------------|----------------------------|
| pH | 6,62 | 6-9 | 7,50 | 0,59 | 0,59 | *Lix rata2= 7,50; Ci < Lix |
| DO | 5,84 | 4,00 | 7,00 | 0,39 | 0,39 | *DO max = 7 (25°C) |
| COD | 41,45 | 25,00 | | 1,66 | 2,10 | *Ci/Lix > 1 |
| Hg | 0,002 | 0,002 | | 1,000 | 1,00 | *Ci/Lix > 1 |
| | | | Rata2 | | 1,02 | |
| | | | IP | | 1,65 | |

Indeks Pencemaran (L6)

| | Ci | Lix | | Ci/Lix | Ci/Lix baru | |
|-----|-------|-------|-------|--------|-------------|----------------------------|
| pH | 6,62 | 6-9 | 7,50 | 0,59 | 0,59 | *Lix rata2= 7,50; Ci < Lix |
| DO | 5,80 | 4,00 | 7,00 | 0,40 | 0,40 | *DO max = 7 (25°C) |
| COD | 42,28 | 25,00 | | 1,69 | 2,14 | *Ci/Lix > 1 |
| Hg | 0,000 | 0,002 | | 0,050 | 0,05 | *Ci/Lix < 1 |
| | | | Rata2 | | 0,79 | |
| | | | IP | | 1,61 | |

Rekap:

| Titik | L1 | L2 | L3 | L4 | L5 | L6 |
|--------|------|------|------|------|------|------|
| IP | 7,12 | 7,14 | 7,18 | 1,67 | 1,65 | 1,61 |
| Baik | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Ringan | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Sedang | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Berat | 10,5 | 10,5 | 10,5 | 10,5 | 10,5 | 10,5 |

BIODATA KARYASISWA
MAGISTER TEKNIK SANITASI LINGKUNGAN
ITS SURABAYA
TAHUN 2013



Nama : RUDI HASUDUNGAN RAJAGUKGUK
NRP : 3312202806
Agama : Kristen Protestan
Status : Kawin
Tempat, tanggal lahir : Jakarta, 21 Mei 1980
Instansi Pengutus : Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Papua
Alamat kontak : rudi_hasudungan@yahoo.com
Nama Bapak : COSTER RAJAGUKGUK
Nama Ibu : BELSIDA SAGALA
Nama Istri : KORI IRIANA PRATIWI SAGALA, SPd.
Nama Anak : LANDO CHRISTOPHER RAJAGUKGUK
Pendidikan Formal :

| Tahun | Nama Sekolah | Program Studi | Nilai |
|-------------|----------------------------------|-------------------|----------------|
| 1986 – 1992 | SD Inpres Dok VIII Atas Jayapura | - | - |
| 1992 – 1995 | SMP Negeri 1 Jayapura Utara | - | - |
| 1995 – 1998 | SMA Negeri 2 Jayapura Utara | IPA | - |
| 1998 – 2004 | Universitas Sahid | Teknik Lingkungan | 2,79 dari 4,00 |

Tanggal Ujian : 05 Januari 2015
Periode Wisuda : Maret 2015